

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Mitja Gros

**Časovno frekvenčne vizualizacije
posnetkov elektromiograma maternice**

DIPLOMSKO DELO NA UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

MENTOR: prof. dr. Franc Jager

Ljubljana, 2016

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil \LaTeX .

Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Tematika naloge:

Razvijte grafični uporabniški vmesnik za časovno–frekvenčno vizualizacijo in označevanje posnetkov signalov elektromiograma maternice. Razviti vmesnik naj omogoča vizualizacijo signalov v časovnem prostoru, vizualizacijo spektrov signalov, spektrogramov, Wigner–Ville–jevih spektrogramov ter skalo-gramov diskretnih in zveznih valčnih transformacij v obliki 2D in 3D grafov. Realizirajte tudi postavljanje in polno urejevanje oznak v posnetkih. Ob razvoju vmesnika upoštevajte Nielsenove principe načrtovanja uporabniških vmesnikov, osnovna mera zmogljivosti vmesnika pa naj je uporabnost. Grafično orodje razvijte z uporabo integriranega razvojnega okolja NetBeans.

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Mitja Gros sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Časovno frekvenčne vizualizacije posnetkov elektromiograma maternice
(angl. *Time–frequency visualizations of records of electromyogram of uterus*)

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Franca Jagra,
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela,
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela na svetovnem spletu preko univerzitetnega spletnega arhiva.

V Ljubljani, dne 8. marca 2016

Podpis avtorja:

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Francu Jagru za strokovno pomoč, usmerjanje in svetovanje pri izdelavi diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi direktorju mag. Tomažu Velechovskymu in moji družini za pomoč in razumevanje pri izdelavi diplomske naloge.

Kazalo

Povzetek

Abstract

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Uvod | 1 |
| 1.1 | Namen dela | 1 |
| 1.2 | Popadki, porod in prezgodnji porod | 2 |
| 1.3 | Posnetki elektrohisterograma | 3 |
| 1.4 | The Term–Preterm EHG Database | 3 |
| 1.5 | PhysioNet | 5 |
| 1.6 | Format posnetkov WFDB | 7 |
| 1.7 | Pregled poglavij | 8 |
| 2 | Uporabljena orodja, knjižnice in podatkovne baze | 9 |
| 3 | Tehnike vizualizacije | 11 |
| 3.1 | Uporabljeni grafi | 11 |
| 3.2 | Barvne preslikave | 11 |
| 4 | Analiza signalov | 13 |
| 4.1 | Spekter | 13 |
| 4.2 | Spektrogram | 14 |
| 4.3 | Winger–Ville–jev spektrogram | 15 |
| 4.4 | Skalogram | 15 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5 | Razvoj grafičnega orodja VisuAA | 17 |
| 5.1 | Struktura programske kode | 17 |
| 5.2 | Grafični uporabniški vmesnik | 18 |
| 5.2.1 | Glavno okno | 21 |
| 5.2.2 | Okno 2D vizualizacije | 31 |
| 5.2.3 | Okno 3D vizualizacije | 32 |
| 5.2.4 | Navigacija | 34 |
| 5.2.5 | Informacije o posnetku | 35 |
| 5.2.6 | Zapiski | 37 |
| 5.2.7 | Nastavitve programa | 37 |
| 5.2.8 | Informacije o programu | 46 |
| 5.3 | Odpiranje in shranjevanje posnetka | 46 |
| 5.3.1 | Odpiranje posnetka | 46 |
| 5.3.2 | Shranjevanje posnetka | 48 |
| 5.3.3 | Shranjevanje lokalnega intervala | 48 |
| 5.4 | Vizualizacije | 49 |
| 5.4.1 | Geometrija 2D vizualizacije | 49 |
| 5.4.2 | Geometrija 3D vizualizacije | 50 |
| 5.4.3 | Barvne preslikave | 51 |
| 5.4.4 | Signal | 51 |
| 5.4.5 | Fourierova transformacija in spekter | 55 |
| 5.4.6 | STFT in spektrogram | 58 |
| 5.4.7 | Wigner–Ville–jev spektrogram | 61 |
| 5.4.8 | Skalogram DWT in CWT | 65 |
| 5.5 | Oznake | 73 |
| 6 | Uporaba grafičnega orodja VisuAA | 79 |
| 6.1 | Odpiranje posnetka in osnovno delo | 79 |
| 6.2 | Izbira vizualizacije | 81 |
| 6.3 | Navigacija po posnetku | 81 |
| 6.4 | Označevanje posnetka | 82 |
| 6.5 | Vizualizacija lokalnega intervala signala | 82 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7 | Analiza posnetka prezgodnjega in terminskega poroda | 85 |
| 7.1 | Analiza celotnega posnetka | 85 |
| 7.2 | Analiza popadka | 91 |
| 8 | Sklepne ugotovitve | 101 |
| A | Uporabljeni simboli in indeksi | 105 |
| B | Uporabljena okna | 107 |
| C | Uporabljeni zvezni valčki | 109 |
| | Literatura | 111 |

Slike

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Primer posnetka EHG | 4 |
| 1.2 | Postavitev elektrod za zajem signalov | 6 |
| 5.1 | Glavno okno programa | 22 |
| 5.2 | Vrstični menu in orodni vrstici | 23 |
| 5.3 | Okno z 2D vizualizacijo lokalnega intervala | 31 |
| 5.4 | Okno z 3D vizualizacijo | 33 |
| 5.5 | Informacije o posnetku | 36 |
| 5.6 | Zapiski o posnetku | 38 |
| 5.7 | Okno z nastavitvami programa | 39 |
| 5.8 | Informacije o programu | 46 |
| 5.9 | Geometrija 2D vizualizacije | 49 |
| 5.10 | Geometrija grafa 3D vizualizacije | 50 |
| 5.11 | Psevdokoda algoritma za določitev barve | 52 |
| 5.12 | Signal | 53 |
| 5.13 | Okno z nastavitvami vizualizacije signala | 55 |
| 5.14 | Spekter signala | 56 |
| 5.15 | Psevdokoda algoritma za izračun spektra | 56 |
| 5.16 | Okno za konfiguracijo vizualizacije spektra | 58 |
| 5.17 | Spektrogram signala | 59 |
| 5.18 | Psevdokoda algoritma za izračun STFT | 60 |
| 5.19 | Okno z nastavitvami spektrograma signala | 62 |
| 5.20 | Wigner–Ville–jev spektrogram signala | 63 |
| 5.21 | Psevdokoda algoritma za izračun Wigner–Ville–jeve distribucije | 64 |

| | | |
|------|---|----|
| 5.22 | Okno z nastavitvami Wigner–Ville–jevega spektrograma | 66 |
| 5.23 | Skalogram DWT signala | 67 |
| 5.24 | Skalogram CWT signala | 68 |
| 5.25 | Psevdokoda algorima za izračun CWT s FFT | 69 |
| 5.26 | Okno z nastavitvami skalograma DWT | 72 |
| 5.27 | Okno z nastavitvami skalograma CWT | 72 |
| 5.28 | Okno za izbiro avtorja oznake | 76 |
| 6.1 | Glavno okno programa | 80 |
| 6.2 | Vizualizacija spektra signala na izbranem lokalnem intervalu . | 83 |
| 7.1 | Signali izbranih posnetkov | 86 |
| 7.2 | Spektrogrami vseh signalov izbranih posnetkov | 87 |
| 7.3 | Skalogrami CWT vseh signalov izbranih posnetkov, valček Mexican hat | 88 |
| 7.4 | Skalogrami CWT vseh signalov izbranih posnetkov, valček Morlet (analitični) | 89 |
| 7.5 | Skalogrami DWT vseh signalov izbranih posnetkov | 90 |
| 7.6 | Močnostni spekter in spektrogram signalov EHG3 in CTG za zadnjih 9 min izbranih posnetkov | 93 |
| 7.7 | Skalogram CWT in Winger–Ville–jev spektrogram signalov EHG3 in CTG za zadnjih 9 min izbranih posnetkov | 94 |
| 7.8 | 3D spektrogram signala EHG3 za zadnjih 9 min izbranih po- snetkov | 95 |
| 7.9 | Signali zadnjega popadka izbranih posnetkov | 96 |
| 7.10 | Močnostni spekter in spektrogram signalov EHG3 in CTG za- dnjega popadka izbranih posnetkov | 97 |
| 7.11 | Skalogram CWT in Winger–Ville–jev spektrogram signalov EHG3 in CTG zadnjega popadka izbranih posnetkov | 98 |
| 7.12 | 3D spektrogram signala EHG3 zadnjega popadka izbranih po- snetkov | 99 |

Tabele

| | | |
|-----|---|----|
| 5.1 | Akcije za navigacijo | 35 |
| 5.2 | Barvne preslikave | 53 |
| 5.3 | Struktura datoteke z rezultati spektra | 61 |
| 5.4 | Struktura datoteke z rezultati STFT | 65 |
| 5.5 | Struktura datoteke z rezultati Wigner–Ville–jeve distribucije . | 70 |
| 5.6 | Struktura datoteke z rezultati skalograma DWT | 74 |
| 5.7 | Struktura datoteke z rezultati skalograma CWT | 75 |

Seznam uporabljenih kratic

| Kratica | Angleško | Slovensko |
|---------|------------------------------|---|
| CWT | Continuous Wavelet Transform | Zvezna valčna transformacija |
| DOG | Derivate of Gauss | Odvod Gaussove funkcije |
| DFT | Discrete Fourier Transform | Diskretna Fourierjeva transformacija |
| DWT | Discrete Wavelet Transform | Diskretna valčna transformacija |
| EHG | Electrohysterogram | Elektrohisterogram |
| FFT | Fast Fourier Transform | Hitra Fourierjeva transformacija |
| STFT | Short Time Fourier Transform | Fourierjeva transformacija s premikajočim oknom |

Povzetek

Naslov: Časovno frekvenčne vizualizacije posnetkov elektromiograma maternice

Cilj diplomske naloge je bil razvoj grafičnega orodja za vizualizacijo in označevanje posnetkov signalov elektrohisterograma (EHG). Razvito grafično orodje Visual Annotating and Analyzing (VisuAA) vizualizira signale EHG, njihove spektre, spektrograme, Wigner–Ville–jeve spektrograme, skalogramme diskretnih valčnih transformacije (DWT) in skalogramme zveznih valčnih transformacij (CWT). Spektrograme, Wigner–Ville–jeve spektrograme, skalogramme DWT in skalogramme CWT je možno vizualizirati kot 2D ali 3D grafe. Orodje mogoča shranjevanje rezultatov vizualizacij, pregledovanje, postavljanje, brisanje in urejanje kliničnih ter uporabniško definiranih oznak, pregledovanje in urejanje informacij posnetka ter zaglavne datoteke posnetkov, zapisov o posnetku in shranjevanje izbranega dela posnetka. Grafično orodje VisuAA je bilo razvito v integriranem razvojnem okolju NetBeans. Med razvojem grafičnega uporabniškega vmesnika smo sledili Nielsenovim principom načrtovanje grafičnih uporabniških vmesnikov, medtem ko sta bila osnovni meri zmogljivosti učinkovitost in uporabnost razvitega grafičnega orodja. Grafično orodje VisuAA je namenjeno vizualizaciji in označevanju posnetkov podatkovne baze Term–Preterm EHG Database (TPEHGDB), prav tako pa tudi katerikoli drugih posnetkov signalov, ki so zapisani v formatu WFDB. Orodje VisuAA je praktično in koristno orodje za razvoj naprednih algoritmov in postopkov za analizo posnetkov EHG.

Ključne besede: grafično orodje, elektrohisterogram, spekter, spektrogram,

skalogram, Fourierova transformacija, Wigner–Ville distribucija, diskretna valčna transformacija, zvezna valčna transformacija, grafični urejevalnik, podatkovna baza Term–Preterm EHG Database (TPEHGDB).

Abstract

Title: Time–frequency visualizations of records of electromyogram of uterus

The goal of the thesis was development of graphical tool for time-frequency visualization and annotating of records of electrohysterogram (EHG) signals. The developed graphical tool Visual Annotating and Analyzing (VisuAA) visualizes EHG signals, their spectra, spectrograms, Wigner–Ville spectrograms, discrete wavelet transform scalograms (DWT), and continuous wavelet transform scalograms (CWT). Spectrograms, Wigner–Ville spectrograms, DWT scalograms and CWT scalograms can be visualized as 2D or 3D graphs. The tool allows saving of visualization results, examination, setting, deleting and editing of clinical and user defined annotations, examining and editing of record information and record header file, record notes, and saving of selected part of the record. The graphic tool VisuAA was developed using NetBeans integrated development environment. During development of graphical user interface we followed Nielsen’s principles of graphical user interface design, while the main performance measures were efficiency and usability of the developed graphical tool. Graphical tool is intended for visualization and annotation of records of Term–Preterm EHG Database (TPE-HGDB) database, as well as of any other signal records which are stored in the WFDB format. The VisuAA tool is practical and useful toll for development of advanced algorithms and procedures to analyze EHG records.

Keywords: Graphical tool, Electrohysterogram, Spectrum, Spectrogram, Scalogram, Fourier transform, Wigner–Ville distribution, Discrete wavelet

transform, Continuous wavelet transform, Graphic editor, Term-Preterm
EHG Database (TPEHGDB).

Poglavje 1

Uvod

1.1 Namen dela

Namen dela je bilo razviti orodje za časovno–frekvenčno vizualizacijo posnetkov signalov elektrohisterograma (EHG). Razvili smo grafično orodje Visual Annotating and Analyzing (VisuAA), ki porodničarjem in raziskovalcem omogoča široko paleto različnih časovno–frekvenčnih vizualizacij in postopek označevanja posnetkov EHG.

Grafično orodje VisuAA omogoča:

- različne vizualizacije signalov EHG:
 - signal.
 - spekter.
 - 2D ali 3D spektrogram Fouriereve transformacije z drsečim oknom (STFT).
 - 2D ali 3D Wigner–Ville–jev spektrogram.
 - 2D ali 3D skalogram diskretne valčne transformacije (DWT).
 - 2D ali 3D skalogram zvezne valčne transformacije (CWT).
- shranjevanje rezultatov vizualizacij.

- pregledovanje, postavljanje, brisanje in urejanje kliničnih ter uporabniško definiranih oznak. Na podlagi oznak, ki definirajo interval, se vizualizacija signala različno obarva glede na tip intervala kot pomoč in vizualni namig uporabniku pri pregledovanju posnetka.
- pregledovanje in urejanje informacij ter zaglavne datoteke posnetkov.
- pregledovanje in urejanje zapiskov o posnetku.
- shranjevanje delov posnetka.

Za delo s posnetki uporabljamo programe paketa The WFDB Software Package, tako da lahko VisuAA uporabimo za vizualizacijo in označevanje vseh vrst posnetkov, ki jih lahko preberemo s programoma *rdsamp* in *rdann*.

1.2 Popadki, porod in prezgodnji porod

Popadki so definirani [1] kot ritmično zaporedje stopnjujočih se krčev maternice. Med popadkom se mišice maternice skrčijo, po koncu popadka pa sprostijo. Ker se ne sprostijo do začetnega stanja se zato maternični vrat stanjša in odpre in tako omogoči prehod plodu skozi porodni kanal.

Porod je definiran [1] kot prehod ploda in posteljice iz maternice v zunanji svet.

Prezgodnji porod je definiran kot porod živega novorojenčka pred 37 tednom nosečnosti [2]. Termiski porod pa je definiran kot porod živega novorojenčka med 37 in 42 tednom nosečnosti. V razvitih državah je 8,6 % porodov prezgodnjih [2].

Prezgodnji porod še vedno predstavlja glavno nevarnost zdravju novorojenčka in povečano tveganje za razvoj zdravstvenih težav in razvojnih motenj [2], [3]. Negativen vpliv prezgodnjih porodov je mogoče tudi zaznati na družinah, družbi in ekonomiji [4]. Z boljšim razumevanjem vzrokov in napovedovanjem prezgodnjega poroda lahko negativne vplive omilimo.

Napovedovanje prezgodnjega poroda je zelo zahtevna naloga, saj na prezgodnji porod vpliva več faktorjev. Ti faktorji so: diabetes, kajenje, ali je

mama že imela prezgodnje porode, razvojne deformacije maternice, kratek maternični vrat, stres, težko delo, večplodna nosečnost in ostali.

Iz napisanega sledi, da je vsaka možna izboljšava napovedovanja prezgodnjega poroda zelo zaželena. Kot dobra tehnika za napovedovanje prezgodnjih porodov se je izkazala analiza posnetkov EHG [5]–[8].

1.3 Posnetki elektrohisterograma

Posnetki elektrohisterograma (EHG) so posnetki elektromiograma maternice. Posnetki zajamejo električno aktivnost mišic maternice. Signali EHG omogočajo zaznavanje aktivnosti maternice pred in med porodom.

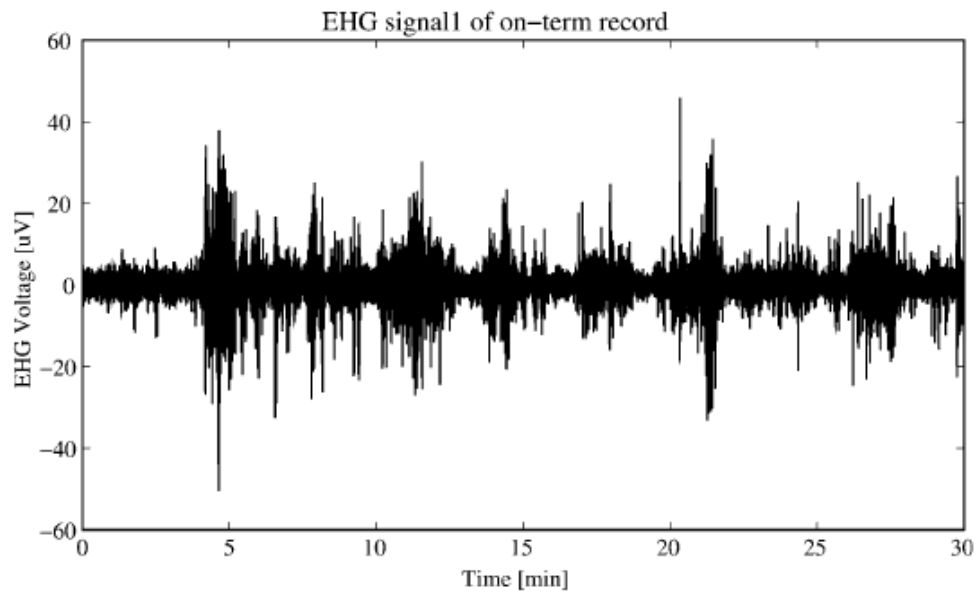
Snemanje signalov je relativno enostavno in ni invazivno. Signali so pridobljeni z merjenem električne aktivnosti z uporabo elektrod, ki se postavijo na trebušno površino nosečnice. Električna aktivnost mišic, ki jo zaznajo elektrode, je signal v obliki elektromiograma. Primer posnetka EHG je na sliki 1.1.

V razvoju grafičnega orodja VisuAA in za primerjavo različnih metod vizualizacije smo se osredotočili na posnetke baze The Term–Preterm EHG Database (TPEHG DB) [8], [10], ki je dostopna na PhysioNet.

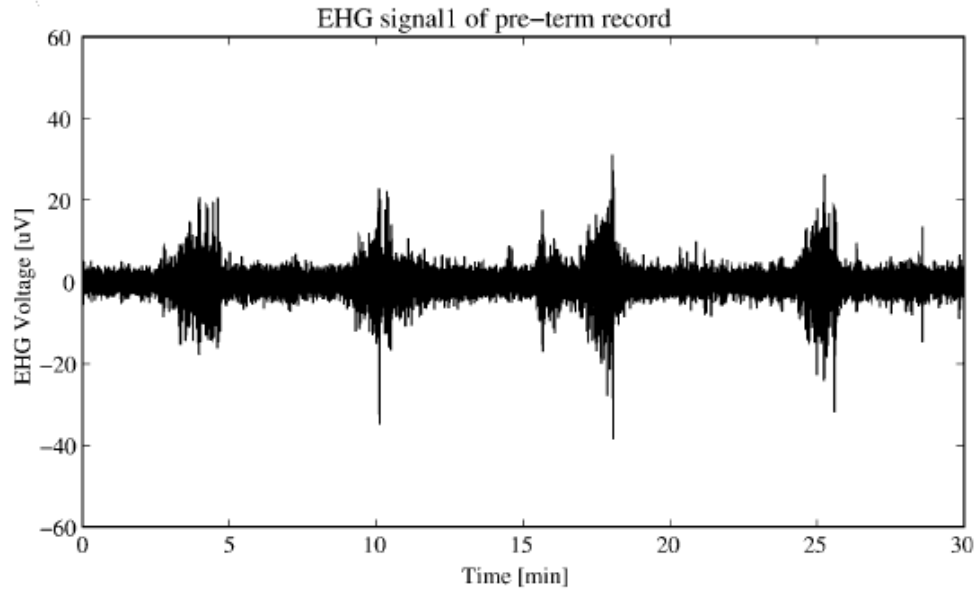
1.4 The Term–Preterm EHG Database

Baza The Term–Preterm EHG Database (TPEHG DB) [8], [10] je zbirka posnetkov EHG v formatu WFDB, ki so bili zbrani med letoma 1997 in 2006 na oddelku ginekološke klinike, Univerzitetni klinični center Ljubljana. Vsebuje 300 posnetkov EHG (en posnetek na nosečnost):

- 262 posnetkov nosečnosti s terminskim porodom, od tega je bilo 143 posnetkov pridobljenih pred 26 tednom nosečnosti, 119 pa med ali po 26 tednom nosečnosti.
- 38 posnetkov nosečnosti s prezgodnjim porodom, od tega je bilo 19



(a) Terminski porod



(b) Prezgodnji porod

Slika 1.1: Primer posnetka EHG [9]

posnetkov pridobljenih pred 26 tednom nosečnosti, 19 pa med ali po 26 tednom nosečnosti.

Vsak posnetek je sestavljen iz treh signalov, ki se jih je zajelo s 4 elektrodami:

1. elektroda (E_1) je bila postavljena 3,5 cm levo od in 3,5 cm nad popek.
2. elektroda (E_2) je bila postavljena 3,5 cm desno od in 3,5 cm nad popek.
3. elektroda (E_3) je bila postavljena 3,5 cm desno od in 3,5 cm pod popek.
4. elektroda (E_4) je bila postavljena 3,5 cm levo od in 3,5 cm pod popek.

Postavitve elektrod je prikazana na sliki 1.2.

Z razliko med električnimi potenciali elektrod se je dobilo 3 signale:

- $S_1 = E_2 - E_1$.
- $S_2 = E_2 - E_3$.
- $S_3 = E_4 - E_3$.

Signali so bili vzorčeni s frekvenco vzorčenja $f_s = 20$ Hz.

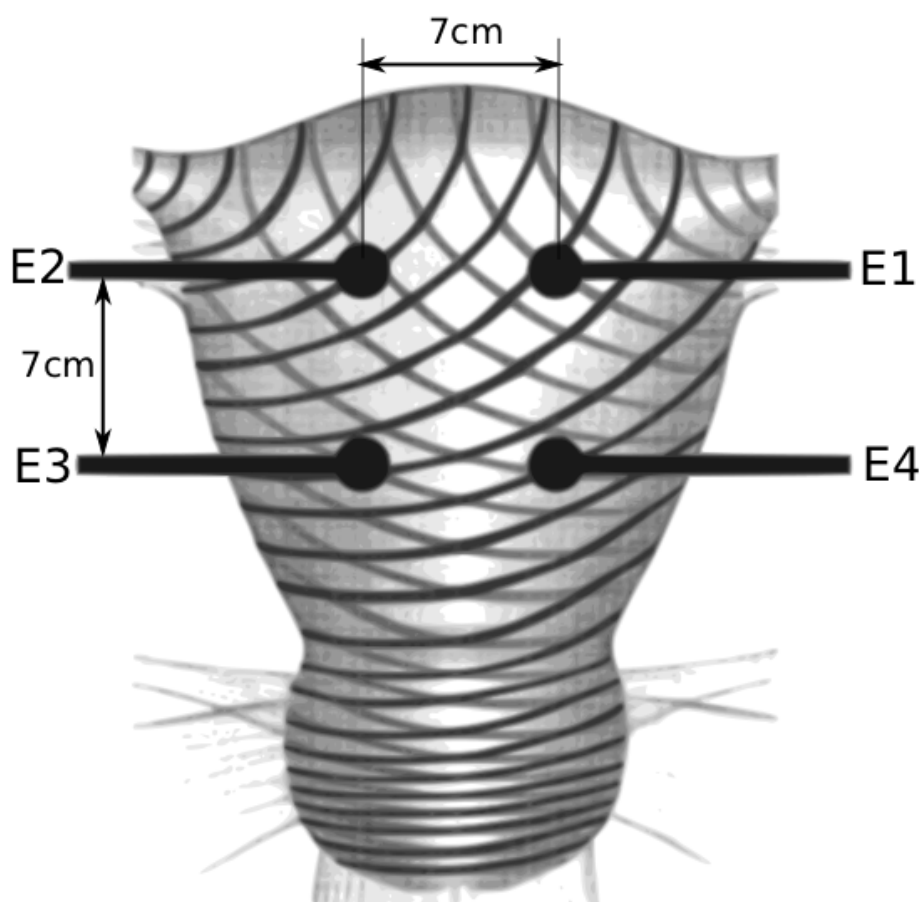
Poleg zgoraj opisanih signalov vsebujejo posnetki tudi signal tokograma (CTG), ki predstavlja pritisk v maternici.

Baza TPEHG DB je dosegljiva na PhysioNet [10].

1.5 PhysioNet

PhysioNet [11] je spletna stran, ki vsebuje:

- PhysioBank – prosto dostopne zbirke fizioloških signalov.
- PhysioToolkit – prosto dostopno programsko opremo za obdelavo signalov.
- zbirko člankov.



Slika 1.2: Postavitev elektrod za zajem signalov [9]

Poleg prosto dostopnega dela nudi PhysioNet tudi PhysioNetWorks [12], ki ni prosto dostopen. Namenjen je članom skupnosti PhysioNet za delo na projektih, ki še niso pripravljeni za objavo.

Spletna stran izvira iz Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, USA. Za dostop do spletne strani PhysioNet na evropskem področju skrbi Laboratorij za biomedicinske računalniške sisteme in oslikave Fakultete za računalništvo in informatiko [13].

1.6 Format posnetkov WFDB

Format posnetkov WFDB je format za shranjevanje fizioloških posnetkov. Vsak posnetek v formatu WFDB je sestavljen je iz več datotek:

zaglavna datoteka vsebuje informacije o posnetku in signalih v njem.

signalne datoteke ena ali več datotek, ki vsebujejo podatke o signalih.

datoteke z oznakami ena ali več datotek, ki vsebujejo podatke o oznakah signalov.

Na spletni strani PhysioNet je na voljo tudi odprtokoden programski paket The WFDB Software Package [14], ki vsebuje programe za manipulacijo posnetkov v formatu WFDB. V grafičnem orodju VisuAA uporabljamo naslednje programe:

rdsamp prebere vzorce signalov posnetka in jih izpiše na standardni izhod.

rdann prebere oznake signalov posnetka in jih izpiše na standardni izhod.

snip prekopira posnetek ali del posnetka v nov posnetek.

wrann prebere podatke o oznakah signalov posnetka iz standardnega vhoda in jih zapiše v formatu WFDB.

1.7 Pregled poglavij

Diplomsko delo smo razdelili na poglavja:

- 1 Uvod** definicija diplomskega dela in problema, ki ga rešuje.
- 2 Uporabljena orodja, knjižnice in podatkovne baze** opis orodij, knjižnic in podatkovnih baz, ki smo jih uporabili.
- 3 Tehnike vizualizacije** definicije in opisi tehnik vizualizacij.
- 4 Analiza signalov** definicije in opisi pristopov za analizo signalov.
- 5 Razvoj grafičnega orodja VisuAA** opis grafičnega uporabniškega vmesnika in uporabljenih pristopov za razvoj grafičnega uporabniškega vmesnika in algoritmov vizualizacij.
- 6 Uporaba grafičnega orodja VisuAA** prikaz uporabe osnovnih funkcij grafičnega orodja VisuAA.
- 7 Analiza posnetka prezgodnjega in terminskega poroda** prikaz uporabe VisuAA za analizo posnetkov EHG.
- 8 Sklepne ugotovitve** sklepne ugotovitve in diskusija.

Poglavje 2

Uporabljena orodja, knjižnice in podatkovne baze

Grafično orodje VisuAA je bilo razvito v integriranem razvojnem okolju NetBeans [15], ki je odprtokodno integrirano razvojno okolje. Uporabili smo NetBeans 8.0.2 in 8.1. Izvorno kodo smo pisali s programskim jezikom Java.

Za zaganjanje programov, napisanih v Javi, se potrebuje Java Runtime Environment (JRE), za razvoj programov v Javi pa Java Development Kit (JDK). Na voljo je več verzij in implementacij JRE in JDK. Od verzije JDK je odvisno, katere funkcije Java imamo na voljo. Za razvoj smo uporabili JDK verzijo 8 in implementaciji OpenJDK ter Oracle Java SE.

Pri razvoju VisuAA smo uporabili več orodij in knjižnic:

Java Swing grafični gradniki za grafične uporabniške vmesnike, ki so del Java Foundation Classes.

The WFDB Software Package programi za manipulacijo posnetkov v formatu WFDB.

JTransforms [16] odprtokodna knjižnica za izračun diskretne Fourierove transformacije.

JWave [17] odprtokodna knjižnica za izračun diskretne valčne transformacije.

Jzy3D [18] odprtokodna knjižnica za prikaz in manipulacijo 3D grafov.

The Apache Commons Math [19] odprtokodna knjižnica za izračun matematičnih problemov.

Ker smo za razvoj programa uporabili Javo, lahko VisuAA uporabljamo na platformah, ki jih Java podpira [20]: Linux, Microsoft Windows in Mac OS X.

Med razvojem smo delovanje programa testirali in primerjali vizualizacije na posnetkih EHG iz baze TPEHG DB.

Poglavje 3

Tehnike vizualizacije

3.1 Uporabljeni grafi

V grafičnem orodju VisuAA za vizualizacijo signalov uporabljamo grafe. Izbrali smo naslednje standardne tipe grafov:

- črtni graf za vizualizacijo signala in spektra.
- toplotni graf za vizualizacijo spektrograma in skalograma.
- reliefni graf za vizualizacijo skalograma zvezne valčne transformacije.
- žični reliefni graf za vizualizacijo skalograma zvezne valčne transformacije.
- 3D ploščinski graf za vizualizacijo spektrograma in skalograma.
- 3D žični reliefni graf za vizualizacijo skalograma zvezne valčne transformacije.

V večini grafov lahko prikažemo normalizirane ali dejanske vrednosti.

3.2 Barvne preslikave

Za lažjo interpretacijo rezultatov funkcij dveh spremenljivk $f(x, y) = z$ z zalogo vrednosti Z_f smo v grafih uporabili barvne preslikave. Barvna pre-

slikava vsaki vrednosti iz Z_f dodeli barvo iz gradienta, ki se ga določi glede na vnaprej izbrane barve in intervale. S tem so grafi bolj berljivi, saj lahko hitreje prepoznamo področja z višjimi vrednostmi vizualizirane funkcije. Ker barvne preslikave uporabljamo v toplotnih, reliefnih in 3D ploščinskih grafih, smo za začetek barvnega gradienta izbrali hladno, za konec barvnega gradienta pa toplo barvo [21].

Barvno preslikavo definiramo tako, da zalogo vrednosti funkcije razdelimo na N_c intervalov, da velja:

$$Z_f = [z_0, z_1) \cup [z_1, z_2) \cup \dots \cup [z_{N_c-1}, z_{N_c}] \quad (3.1)$$

$$z_0 = \min_{\forall x,y} f(x, y) \quad (3.2)$$

$$z_{N_c} = \max_{\forall x,y} f(x, y) \quad (3.3)$$

$$z_i \leq z_{i+1} \quad i = 0, 1, \dots, N_c - 1 \quad (3.4)$$

Izberemo $N_c + 1$ barv in jih dodelimo intervalom, tako da je začetna barva intervala i enaka končni barvi intervala $i - 1$. Vsako barvo predstavimo s intenziteto rdeče, zelene in modre komponente barve.

Poljubni vrednosti $z \in Z_f$ določimo barvo tako, da poiščemo interval $[z_i, z_{i+1})$, za katerega velja $z_i \leq z < z_{i+1}$. Komponente nove barve izračunamo z linearno interpolacijo med komponentami začetne in končne barve izbranega intervala glede na z .

Poglavje 4

Analiza signalov

4.1 Spekter

S spektrom, ki je eno od osnovnih orodij za analizo signalov, predstavimo frekvenčno vsebino signala. Spekter definiramo z uporabo Fourierove transformacije.

Zvezna Fourierova transformacija signala $x(t)$ je definirana kot [9]:

$$X(\Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi\Omega t} dt \quad (4.1)$$

Parameter Ω predstavlja analogno frekvenco.

Diskretna Fourierova transformacija (DFT) signala $x(n)$ dolžine N je definirana kot [9]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.2)$$

Ker je signal $x(n)$ dolg in aperiodičen, uporabimo okensko funkcijo $w(n)$. Z izbiro primerne okenske funkcije omilimo vpliv razmazanja in spektralnega puščanja.

Močnostni spekter $S_x(k)$ signala $x(n)$ definiramo z uporabo DFT in oken-

ske funkcije [22]:

$$S_x(k) = |X_w(k)|^2 \quad (4.3)$$

$$X_w(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)w(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.4)$$

N predstavlja dolžino signala $x(n)$, funkcija $w(n)$ pa je izbrana okenska funkcija.

Definiramo lahko tudi relacijo med analognimi in DFT frekvencami:

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{N} \quad (4.5)$$

$$\Omega_k = \frac{2\pi k}{NT_s} \quad (4.6)$$

$$T_s = \frac{1}{f_s} \quad (4.7)$$

ω_k predstavlja k -to DFT frekvenco, Ω_k k -to analogno frekvenco, f_s pa frekvenco vzorčenja v Hz.

S spektrom vizualiziramo frekvenčno vsebino signala. Glavna omejitev spektra, predvsem pri analizi signalov, ki niso stacionarni, izhaja iz uporabe Fourierove transformacije. S spektrom ugotovimo, katere frekvence so prisotne v signalu, ne moremo pa izvedeti, kdaj v signalu se frekvence pojavijo.

4.2 Spektrogram

Spektrogram je realna, pozitivna distribucija za predstavitev časovno-frekvenčne domene [9]. Definiramo ga z uporabo Fourierove transformacije z drsečim oknom.

Zvezna Fourierova transformacija signala $x(t)$ z drsečim oknom $w(t)$ (STFT) je definirana kot dvodimenzionalna funkcija [9]:

$$X(t, \Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)w(\tau - t)e^{-j\Omega\tau} d\tau \quad (4.8)$$

Parameter Ω predstavlja analogno frekvenco.

Diskretna Fourierjeva transformacija signala $x(n)$ z drsečim oknom $w(n)$ je definirana kot:

$$X(n, \omega) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m)w(m-n)e^{-j\omega m} \quad (4.9)$$

Spektrogram $S_x(n, \omega)$ signala $x(n)$ je definiran kot kvadrat magnitude:

$$S_x(n, \omega) = |X(n, \omega)|^2 \quad (4.10)$$

Spektrogram odpravlja glavno omejitev spektra – ker se z oknom $w(n)$ premikamo po signalu, tako zaznamo spremembe v frekvenčnih komponentah. Izbrana okenska funkcija $w(n)$ vpliva na ločljivost: širše okno da boljše frekvenčno in slabšo časovno ločljivost, ožje okno pa slabšo frekvenčno in boljše časovno ločljivost.

4.3 Winger–Ville–jev spektrogram

Spektrogram lahko definiramo tudi z uporabo Wigner–Ville–jeve distribucije.

Zvezna Wigner–Ville–jeva distribucija analitičnega signala $x(t)$ je definirana kot [23]:

$$W_x(t, \Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t + \tau/2)x^*(t - \tau/2)e^{-j2\pi\Omega\tau}d\tau \quad (4.11)$$

Parameter Ω predstavlja analogno frekvenco.

Wigner–Ville–jev spektrogram je definiran kot:

$$S_x(t, \Omega) = |W(t, \Omega)|^2 \quad (4.12)$$

Glavna prednost Wigner–Ville–jeve distribucije pred STFT je boljša frekvenčna in časovna ločljivost.

4.4 Skalogram

S skalogrami vizualiziramo valčno transformacijo. Definiramo ga lahko na osnovni zvezne ali diskretne valčne transformacije.

Zvezna valčna transformacija signala $x(t)$ (CWT) je definirana kot [24]:

$$CWT_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (4.13)$$

Parameter τ predstavlja translacijo, parameter s skalo, funkcija $\psi(t)$ pa je izbran valček.

Diskretna valčna transformacija (DWT) je izračun zvezne valčne transformacije na množici diskretnih skal in translacij. Izbrane skale so diadične skale:

$$s_j = 2^j \quad (4.14)$$

Osnovna definicija skalograma zvezne valčne transformacije signala $x(t)$ je:

$$S(\tau, s) = |CWT_x^\psi(\tau, s)|^2 \quad (4.15)$$

Definiramo lahko dva tipa skalograma zvezne valčne transformacije signala $x(t)$ z valčkom $\psi(t)$:

- magnitudni skalogram:

$$S_{x,a}^\psi(\tau, s) = |CWT_x^\psi(\tau, s)| \quad (4.16)$$

- močnostni skalogram:

$$S_{x,p}^\psi(\tau, s) = |CWT_x^\psi(\tau, s)|^2 \quad (4.17)$$

Glavni prednosti valčne transformacije pred STFT in Wigner–Ville transformacijama sta:

- z valčno transformacijo lahko zaznamo tako kratke visoko frekvenčne kot tudi dolge nizko frekvenčne komponente signala.
- na voljo je velik nabor valčkov, s katerimi lahko analiziramo signale.

Zvezna valčna transformacija se od diskretne valčne transformacije razlikuje v tem, da jo izračunamo na več skalah. To je tudi razlog, zakaj je CWT bolj primerna za analizo signalov.

Poglavje 5

Razvoj grafičnega orodja VisuAA

5.1 Struktura programske kode

Pri razvoju programske kode smo uporabili principe objektno orientiranega programiranja:

- ograjevanje.
- večobličnost.
- dedovanje.
- abstrakcija.

Poleg principov objektno orientiranega programiranja smo uporabili tudi principe večnitnega programiranja. S tem smo dosegli hitrejše izvajanje programa na sodobnih, večjedrnih procesorjih, saj je večina izbranih algoritmov zelo primerna za paralelno izvajanje.

Program smo razdelili na več Java paketov, ki so logično zaključeni deli, čim bolj neodvisni drug od drugega. Tako smo povečali berljivost in razumljivost programske kode in možnost ponovne uporabe delov kode v drugih programih, hkrati pa smo zmanjšali možnost napak v programski kodi.

Programska koda je razdeljena na pakete:

dsp implementacija algoritmov za digitalno procesiranje signalov, ki se uporabljajo za različne vizualizacije.

gui grafični uporabniški vmesnik orodja VisuAA.

wfdb razredi za delo s posnetki v formatu WFDB.

wfdb.visualisations in **wfdb.visualisations3d** implementacija 2D in 3D vizualizacij.

5.2 Grafični uporabniški vmesnik

Za razvoj grafičnega uporabniškega vmesnika smo uporabili Java Swing grafične gradnike za grafične uporabniške vmesnike in Jzy3D, odprtokodno knjižnico za prikaz in manipulacijo 3D grafov. Pri načrtovanju uporabniškega vmesnika smo upoštevali Mandelove in Nielsenove principe [21]. Trije Mandelovi principi so:

1. Zagotovi nadzor uporabnika.
2. Reduciraj obremenitev uporabnikovega spomina.
3. Zagotovi konsistentnost.

Nielsenovih deset principov je:

1. Prilagodi se realnemu svetu.

Akcije smo poimenovali s splošnimi in razumljivimi besedami in kjer je smiselno uporabili ustaljene termine.

2. Konsistentnost in standardi.

Konsistentnost smo dosegli z grupiranjem gradnikov v kategorije, uporabo standardnih dialogov in upoštevanjem splošnih priporočil za razvoj grafičnih orodij z Javo.

3. Pomoč in dokumentacija.

Diplomsko delo je dokumentacijo grafičnega orodja VisuAA.

4. Uporabnikov nadzor in svoboda.

Uporabniku je vedno na voljo označen izhod. Razveljavitev akcije nismo implementirali, saj vsaka akcija povozi prejšnjo akcijo. Z uporabo akcij za navigacijo in dodajanje, spreminjanje, pregledovanje in brisanje oznak pa ima uporabnik vedno nadzor nad podatki.

5. Vidljivost statusa sistema.

Uporabnika o statusu sistema obvestimo preko statusne vrstice na dnu okna ter med procesiranjem vizualizacije preko delovne površine.

6. Fleksibilnost in učinkovitost.

Za pogosto uporabljene akcije smo zagotovili bližnjice. Na voljo je tudi zgodovina zadnjih odprtih posnetkov za hitro nadaljevanje dela.

7. Izogibanje napakam.

Akcije, ki jih uporabnik v danem trenutku ne more izvesti, so onemogočene. Izogibali smo se uporabi besedilnih območij in namesto njih uporabili kombinirane izvlečne sezname. Kjer smo uporabili besedilna območja smo tudi uvedli preverjanje vhodnih podatkov.

8. Raje prepoznav kot si zapomni.

Uporabili smo menuje in minimizirali uporabo besedilnih območij in s tem zmanjšali možnost napak. Akcije smo poimenovali generično.

9. Javljanje napak, diagnoza, reševanje.

Uporabnika o napaki obvestimo z uporabo standardnih dialogov, v katerih je opisana napaka in možni vzroki.

10. Estetika in minimalistično načrtovanje.

Grafični uporabniški vmesnik je načrtovan v skladu s principom manj je več. Estetika sledi estetiki platforme.

Uporabniku programa so na voljo akcije, ki jih lahko izvede. Za implementacijo akcij smo uporabili paradigmo objekt–akcija. Postopek izvajanja akcije je:

1. Uporabnik izbere objekt.
2. Uporabnik preko menuja ali gumba v orodni vrstici izbere akcijo, ki se izvrši nad izbranim objektom.

Pri implementaciji smo se tudi držali načela, da je čim manj nastavitvev uporabniškega vmesnika in algoritmov skritih v programski kodi. Zato ima uporabnik na voljo spreminjanje nastavitvev programa, da prilagodi izgled in privzete vrednosti glede na svoje potrebe.

Za razporeditev grafičnih gradnikov v oknih smo uporabili Java Layout Managers. S tem smo zagotovili, da je izgled oken konsistenten ne glede na resolucijo zaslona in ne glede na spreminjanje velikosti okna.

Orodje VisuAA je sestavljeno iz več oken:

- glavno okno.
- okno 2D vizualizacije izbranega lokalnega intervala.
- okno 3D vizualizacije.
- informacije o posnetku.
- zapiski.
- nastavitve.
- pomožna okna za konfiguracijo vizualizacij, vnos zahtevanih vrednosti in prikaz obvestil.
- informacije o programu.

5.2.1 Glavno okno

Glavno okno se odpre ob zagonu programa. Ima dva načina prikaza:

- brez odprtega posnetka (slika 5.1a).
- z odprtim posnetkom (slika 5.1b).

Glavno okno je razdeljeno na več delov:

1. Vrstični menu in orodni vrstici vsebujejo akcije, ki jih uporabnik lahko izvaja (slika 5.2).
2. Delovna površina, ki vsebuje:
 - (a) Informacije o izbranih vizualizacijah signalov.
 - (b) Vizualizacije signalov in marker.
 - (c) Drsnik za navigacijo.
 - (d) Statusno vrstico.
 - (e) Kontekstni menu, ki vsebuje akcije:

Configure prikaže okno za konfiguracijo izbrane vizualizacije.

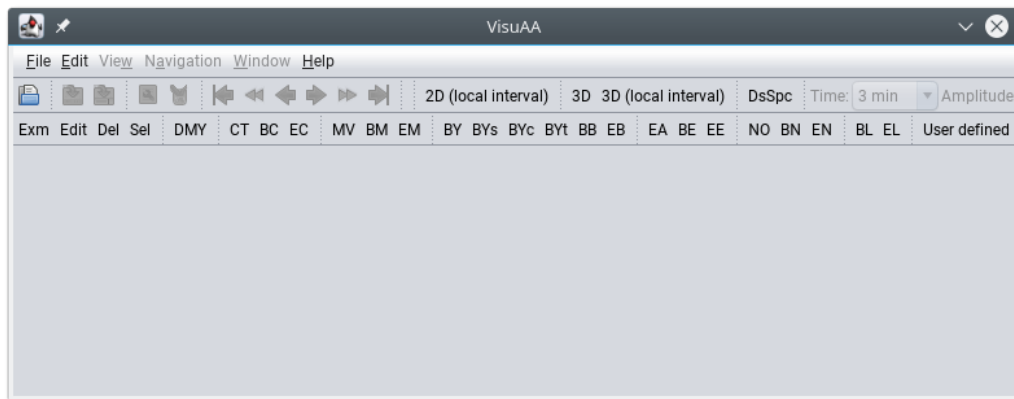
Akcija je omogočena le, če ima vizualizacija okno za konfiguracijo.

Save image as... shrani vizualizacijo v bitno sliko formata PNG.

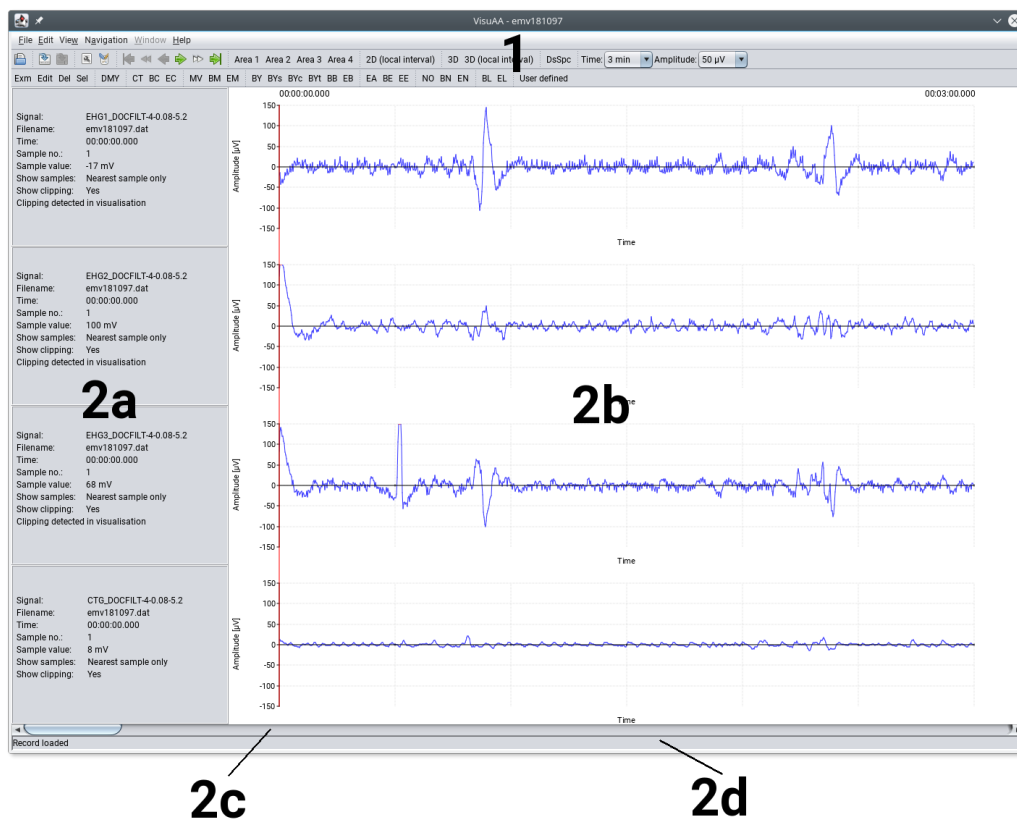
Save results as... shrani rezultate vizualizacije v tekstovno datoteko. Z akcijo smo omogočili uporabo in nadaljnjo obdelavo rezultatov vizualizacije v drugih orodjih, npr. Matlabu. Akcija je omogočena le, če vizualizacija podpira shranjevanje rezultatov.

Vrstični menu in orodni vrstici

Vrstični menu in orodni vrstici (slika 5.2) vsebujeta akcije, ki jih uporabnik lahko izvede. Vrstični menu je definiran v skladu z modelom FEVH (File-Edit-View-Help). V vrstičnem menuju in orodni vrstici so na voljo akcije:

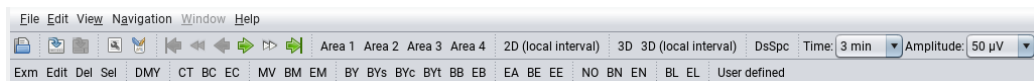


(a) Brez odprtega posnetka



(b) Z odprtim posnetkom

Slika 5.1: Glavno okno programa



Slika 5.2: Vrstični menu in orodni vrstici

File vsebuje akcije za odpiranje, shranjevanje in zapiranje posnetkov ter izhod iz programa:

Open file odpre posnetek in v delovni površini prikaže prvih N_v signalov posnetka. Če je N_v večji od števila signalov v posnetku, se prikaže vse signale, ostala področja za vizualizacijo pa ostanejo prazna.

Open recent odpre enega izmed zadnjih odprtih posnetkov.

Save shrani trenutni posnetek. Shranijo se spremembe oznak, zaglavne datoteke in zapiskov.

Save as... shrani trenutni posnetek v novo datoteko in ga ponovno odpre.

Save local interval to file shrani izbrani lokalni interval v novo datoteko. Poleg signalov se shranijo tudi morebitne oznake, ki so v lokalnem intervalu in zapiski. Akcija je uporabna za izdelavo izsekov posnetka za nadaljnjo analizo.

Close record zapre trenutno odprt posnetek.

Exit izhod iz grafičnega orodja VisuAA.

Edit vsebuje akcije za urejanje zaglavne datoteke, zapiskov, oznak in nastavitve orodja:

Record information prikaže modalno okno z informacijami o posnetku in morebitnimi opozorili, ki so se pojavila ob odpiranju posnetka. Omogoča tudi urejanje podatkov o posnetku.

Notes prikaže okno z zapiski o posnetku.

Annotations podmenu, ki vsebuje akcije za delo z oznakami in lokalnimi intervali:

Exm v statusni vrstici prikaže informacije o oznaki pod markerjem.

Edit podmenu z akcijami:

Change to (oznaka) ali User defined spremeni oznako pod markerjem na novo izbrano oznako.

Edit annotator spremeni avtorja oznake.

Del brisanje oznake pod markerjem.

Sel izbira lokalnega intervala, v katerem se nahaja marker. Če se marker ne nahaja v lokalnem intervalu, se počisti trenutno izbrani lokalni interval.

Oznaka ali User defined dodajanje oznake. Oznako se doda na trenutno mesto markerja.

Preferences odpre modalno okno z nastavitvami programa.

View vsebuje akcije za prikaz in konfiguracijo vizualizacij. Glede na maksimalno število hkrati prikazanih vizualizacij N_v se pojavijo podmenuji Area i , $1 \leq i \leq N_v$:

Area i vsebuje podmenu z akcijami za upravljanje vizualizacijskega področja i :

Signal v vizualizacijskem področju i prikaže signal, izbran v podmenuju.

Spectrum v vizualizacijskem področju i prikaže spekter signala, izbranega v podmenuju.

Spectrogram v vizualizacijskem področju i prikaže spektrogram signala, izbranega v podmenuju.

Wigner–Ville v vizualizacijskem področju i prikaže Wigner–Ville-jev spektrogram signala, izbranega v podmenuju.

DWT scalogram v vizualizacijskem področju i prikaže skalogram diskretne valčne transformacije signala, izbranega v podmeniju.

CWT scalogram v vizualizacijskem področju i prikaže skalogram zvezne valčne transformacije signala, izbranega v podmeniju.

Configure prikaže okno za konfiguracijo izbrane vizualizacije. Akcija je omogočena le, če ima vizualizacija okno za konfiguracijo.

Save image as... shrani vizualizacijo v bitno sliko formata PNG.

Save results as... shrani rezultate vizualizacije v tekstovno datoteko. Z akcijo smo omogočili uporabo in nadaljnjo obdelavo rezultatov vizualizacije v drugih orodjih, npr. Matlabu. Akcija je omogočena le, če vizualizacija podpira shranjevanje rezultatov.

2D (local interval) podmenu za 2D vizualizacijo izbranega lokalnega intervala signala. Pri vizualizaciji se upošteva omejitev dolžine lokalnega intervala za vizualizacijo L_l . Podmenu je omogočen le, če je lokalni interval izbran. Vsebuje akcije:

Signal v novem oknu prikaže lokalni interval signala, izbranega v podmeniju.

Spectrum v novem oknu prikaže spekter lokalnega intervala signala, izbranega v podmeniju.

Spectrogram v novem oknu prikaže spektrogram lokalnega intervala signala, izbranega v podmeniju.

Wigner–Ville v novem oknu prikaže Wigner–Ville–jev spektrogram lokalnega intervala signala, izbranega v podmeniju.

DWT scalogram v novem oknu prikaže skalogram diskretne valčne transformacije lokalnega intervala signala, izbranega v podmeniju.

CWT scalogram v novem oknu prikaže skalogram zvezne valčne transformacije lokalnega intervala signala, izbranega v podmenuju.

For all visible visualisations v novih oknih prikaže vse trenutno upodobljene vizualizacije za izbran lokalni interval.

3D podmenu za 3D vizualizacijo signala. Vsebuje akcije:

Spectrogram v novem oknu prikaže 3D spektrogram signala, izbranega v podmenuju.

Wigner–Ville v novem oknu prikaže 3D Wigner–Ville–jev spektrogram signala, izbranega v podmenuju.

DWT scalogram v novem oknu prikaže 3D skalogram diskretne valčne transformacije signala, izbranega v podmenuju.

CWT scalogram v novem oknu prikaže 3D skalogram zvezne valčne transformacije signala, izbranega v podmenuju.

3D (local interval) podmenu za 3D vizualizacijo izbranega lokalnega intervala signala. Pri vizualizaciji se upošteva omejitev dolžine lokalnega intervala za vizualizacijo L_l . Podmenu je omogočen le, če je lokalni interval izbran. Vsebuje akcije:

Spectrogram v novem oknu prikaže 3D spektrogram lokalnega intervala signala, izbranega v podmenuju.

Wigner–Ville v novem oknu prikaže 3D Wigner–Ville–jev spektrogram lokalnega intervala signala, izbranega v podmenuju.

DWT scalogram v novem oknu prikaže 3D skalogram diskretne valčne transformacije lokalnega intervala signala, izbranega v podmenuju.

CWT scalogram v novem oknu prikaže 3D skalogram zvezne valčne transformacije lokalnega intervala signala, izbranega v podmenuju.

Display spectrum v novem oknu prikaže spekter signala za izbran stolpec spektrograma. Za implementacijo akcije smo uporabili pa-

radigmo akcija–objekt: najprej izberemo akcijo, nato pa kliknemo na stolpec spektrograma, za katerega želimo prikazati spekter. Akcija je omogočena le, če je prikazan vsaj en spektrogram.

Time v podmenuju izberemo dolžino intervala za prikaz L_v . Izbrana dolžina intervala L_v se uporabi tudi za dolžino koraka navigacije.

Amplitude v podmenuju izberemo amplitudo A , s katero določimo enoto y osi vizualizacije signala. Izbira amplitude vpliva na vse prikazane signale, kar je v nasprotju s pristopom, da se vsako področje za vizualizacijo konfigurira ločeno. Za tako implementacijo smo se odločili iz praktičnih razlogov - izbira amplitude je pogosto uporabljena akcija.

Record information prikaže modalno okno z informacijami o posnetku.

Zoom in izbere naslednji krajši interval za prikaz vizualizacij L_v .

Zoom out izbere naslednji daljši interval za prikaz vizualizacij L_v .

Zoom normal izbere privzeti interval za prikaz vizualizacij L_v .

Navigation vsebuje akcije za navigacijo po posnetku:

Go to start skoči na začetek posnetka.

Go one step back pojdi za en izbran korak L_v nazaj.

Go half step back pojdi za pol izbranega koraka L_v nazaj.

Go half step forward pojdi za pol izbranega koraka L_v naprej.

Go one step forward pojdi za en izbran korak L_v naprej.

Go to the end skoči na konec posnetka.

Menu za navigacijo in akcije v meniju so omogočene le, če se jih lahko izvede.

Window vsebuje seznam vseh odprtih oken z vizualizacijami za lažjo navigacijo med okni. Vsebuje akcije:

Naziv okna akcija prestavi fokus na okno in ga postavi v ospredje.

Close all windows zapre vsa odprta okna z vizualizacijami.

Help Vsebuje akcije, povezane s pomočjo uporabniku:

About Odpre okno z informacijami o programu.

Orodni vrstici vsebujeta bližnjice do akcij iz menuja za hitrejše delo z miško. V zgornji orodni vrstici so na voljo akcije:

Open file odpre posnetek in v delovni površini prikaže prvih N_v signalov posnetka. Če je N_v večji od števila signalov v posnetku, se prikaže vse signale, ostala področja za vizualizacijo pa ostanejo prazna.

Save shrani trenutni posnetek. Shranijo se spremembe oznak, zaglavne datoteke in zapiskov.

Save local interval to file shrani izbrani lokalni interval v novo datoteko. Poleg signalov se shranijo tudi morebitne oznake, ki so v lokalnem intervalu in zapiski. Akcija je uporabna za izdelavo izsekov posnetka za nadaljnjo analizo.

Record information prikaže modalno okno z informacijami o posnetku in morebitnimi opozorili, ki so se pojavila ob odpiranju posnetka. Omoogoča tudi urejanje podatkov o posnetku.

Notes prikaže okno z zapiski o posnetku.

Go to start skoči na začetek posnetka.

Go one step back pojdi za en izbran korak L_v nazaj.

Go half step back pojdi za pol izbranega koraka L_v nazaj.

Go half step forward pojdi za pol izbranega koraka L_v naprej.

Go one step forward pojdi za en izbran korak L_v naprej.

Go to the end skoči na konec posnetka.

Area i gumbi Area i , $1 \leq i \leq N_v$, ki prikažejo podmenu z akcijami za upravljanje vizualizacijskega področja i .

2D (local interval) prikaže podmenu z akcijami za 2D vizualizacijo izbranega lokalnega intervala. Akcija je omogočena le, če je lokalni interval izbran.

3D prikaže podmenu z akcijami za 3D vizualizacijo.

3D (local interval) prikaže podmenu z akcijami za 3D vizualizacijo izbranega lokalnega intervala. Akcija je omogočena le, če je lokalni interval izbran.

DsSpc v novem oknu prikaže spekter signala za izbran stolpec spektrograma. Akcija je omogočena le, če je prikazan vsaj en spektrogram.

Time izbira dolžine intervala za prikaz L_v . Izbrana dolžina intervala L_v se uporabi tudi za dolžino koraka navigacije.

Amplitude izbira amplitude A , s katero določimo enoto y osi vizualizacije signala.

V spodnji orodni vrstici so na voljo akcije:

Exm v statusni vrstici prikaže informacije o oznaki pod markerjem.

Edit spreminjanje oznake pod markerjem. V podmenuju izberemo novo oznako, ki nadomesti oznako pod markerjem.

Del brisanje oznake pod markerjem.

Sel izbira lokalnega intervala, v katerem se nahaja marker. Če se marker ne nahaja v lokalnem intervalu, se počisti trenutno izbrani lokalni interval.

Oznaka ali User defined dodajanje oznake. Oznako se doda na trenutno mesto markerja.

Okno je implementirano v paketu `gui` z razredom `TPEHGVisualiserFrame`, ki deduje razred `JFrame`.

Akcije, ki jih uporabnik lahko izvede, so implementirane kot razredi, ki dedujejo razred `AbstractAction`. Tako smo dosegli, da so brez ponavljanja programske kode akcije na voljo tako v orodni vrstici (za hitro delo z uporabo miške) in preko menujev (za hitro delo z uporabo tipkovnice). Akcije so implementirane v več paketih.

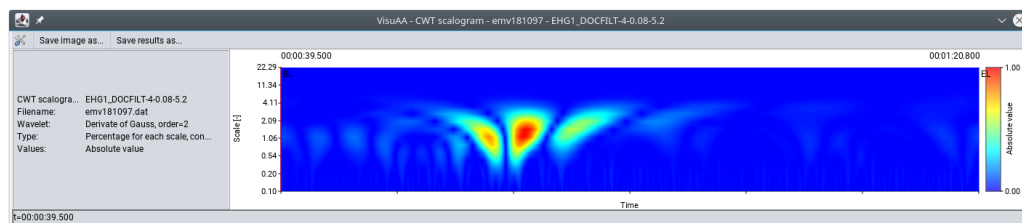
Delovna površina

Delovna površina je implementirana v razredu `TPEHGVisualisationsPanel`, ki deduje razred `JPanel`. Sestavljena je iz:

- površine za prikaz vizualizacij ter nadzor in prikaz markerja. Implementirana je v razredu `VisualisationsDrawingPane`, ki deduje razred `JPanel` in implementira vmesnika `MouseListener` in `MouseMotionListener`, s katerima se nadzoruje pozicijo markerja.
- enega ali več področij z informacijami o vizualizaciji. Področja so implementirana v paketu `gui.inspectionpanels`. Za vsak tip vizualizacije je lasten razred področja za prikaz informacij o vizualizaciji, ki deduje abstrakten razred `VisualisationInspectionPanel`.
- statusne vrstice, v kateri so prikazane informacije o:
 - trenutni poziciji markerja.
 - sporočila, npr.: shranjevanje bitne slike je končano.
 - opozorila.
- kontekstnega menuja, ki vsebuje akcije:

Configure prikaže okno za konfiguracijo izbrane vizualizacije. Akcija je omogočena le, če ima vizualizacija okno za konfiguracijo.

Save image as... shrani vizualizacijo v bitno sliko formata PNG.



Slika 5.3: Okno z 2D vizualizacijo lokalnega intervala. Prikazan je skalogram CWT z valčkom Mexican hat signala EHG1 posnetka emv181087 na intervalu od 00:39,500 min do 01:20,800 min.

Save results as... shrani rezultate vizualizacije v tekstovno datoteko. Z akcijo smo omogočili uporabo in nadaljnjo obdelavo rezultatov vizualizacije v drugih orodjih, npr. Matlabu. Akcija je omogočena le, če vizualizacija podpira shranjevanje rezultatov.

Razred `TPEHGVisualisationsPanel` upravlja z informacijami o trenutno prikazanih vizualizacijah, trenutni poziciji markerja, časovni poziciji v posnetku in intervalu za prikaz signala. Razred `VisualisationsDrawingPane` skrbi za kontrolo in prikaz markerja ter vizualizacij.

5.2.2 Okno 2D vizualizacije

2D vizualizacija lokalnega intervala ali spektra izbranega stolpca spektrograma se odpre v ločenem oknu (slika 5.3). Hkrati je lahko odprtih več oken z 2D vizualizacijami.

Okno je sestavljeno iz:

- orodne vrstice, ki vsebuje akcije:

Configure prikaže okno za konfiguracijo izbrane vizualizacije. Akcija je omogočena le, če ima vizualizacija okno za konfiguracijo.

Save image as... shrani vizualizacijo v bitno sliko formata PNG.

Save results as... shrani rezultate vizualizacije v tekstovno datoteko. Z akcijo smo omogočili uporabo in nadaljnjo obdelavo re-

zultatov vizualizacije v drugih orodjih, npr. Matlabu. Akcija je omogočena le, če vizualizacija podpira shranjevanje rezultatov.

- delovne površine, ki je sestavljena iz:
 - površine za prikaz vizualizacij ter nadzor in prikaz markerja.
 - področja z informacijami o vizualizaciji.
 - statusne vrstice.
 - kontekstnega menuja, ki vsebuje enake akcije, kot orodna vrstica.

Za delovno površino se, kot pri glavnem oknu, uporablja razred `TPE-HGVisualisationsPanel`.

2D vizualizacije so implementirane v paketu `wfdb.visualisation` kot dediči abstraktnega razreda `Visualisation`.

5.2.3 Okno 3D vizualizacije

3D vizualizacija se odpre v ločenem oknu (slika 5.4). Hkrati je lahko odprtih več oken z 3D vizualizacijami.

Okno je sestavljeno iz:

- orodna vrstica, ki vsebuje akcije:

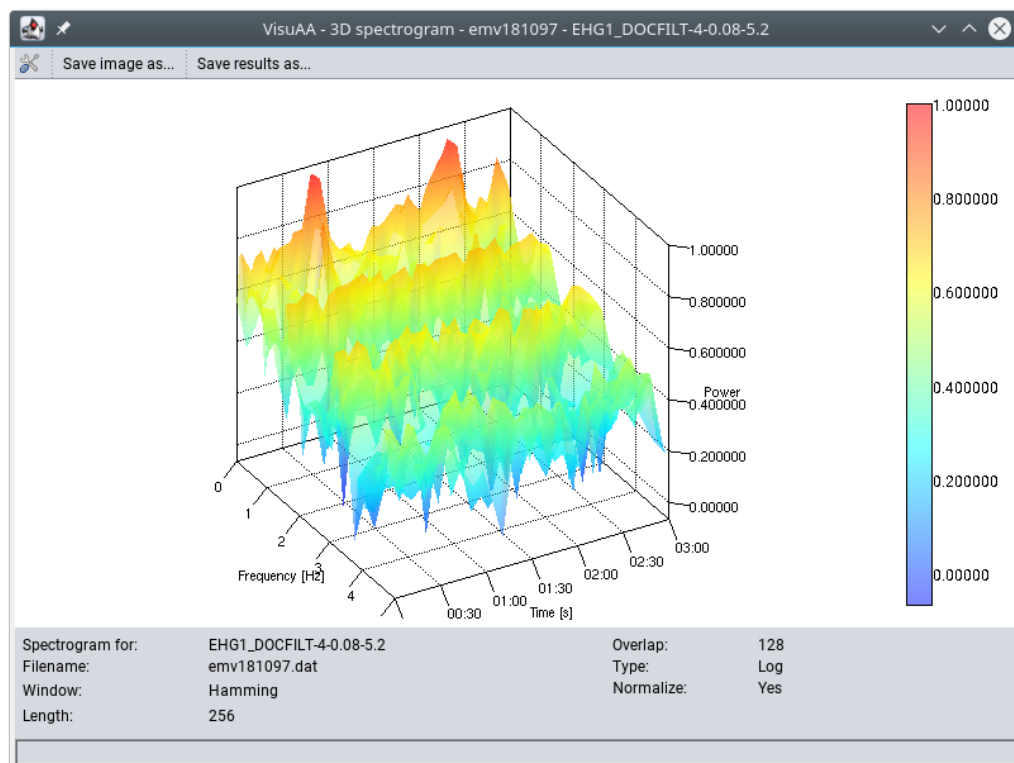
Configure prikaže okno za konfiguracijo izbrane vizualizacije. Akcija je omogočena le, če ima vizualizacija okno za konfiguracijo.

Save image as... shrani vizualizacijo v bitno sliko formata PNG.

Save results as... shrani rezultate vizualizacije v tekstovno datoteko. Z akcijo smo omogočili uporabo in nadaljnjo obdelavo rezultatov vizualizacije v drugih orodjih, npr. Matlabu. Akcija je omogočena le, če vizualizacija podpira shranjevanje rezultatov.

Akcije so implementirane v paketu `wfdb.visualisation3d.actions`.

- območje za prikaz 3D grafa. Z miško lahko manipuliramo graf:



Slika 5.4: Okno z 3D vizualizacijo. Prikazan je spektrogram signala EHG1 posnetka emv181087 na intervalu od 00:00 min do 03:00 min. Uporabljeno je Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$.

vrtenje grafa pridržiimo levi gumb miške in jo premikamo. Graf se zavrti v smeri, v katero premaknemo miško.

skaliranje z koordinate vrtimo kolesček miške. Z vrtenjem se skalira z koordinata grafa.

- območje za prikaz informacij o vizualizaciji in izbranih parametrih.
- statusna vrstica za prikaz informacij in opozoril.

3D vizualizacije so implementirane v paketu `wfdb.visualisation3d`. Razredi, v katerih so implementirane vizualizacije, dedujejo abstrakten razred `Jzy3DVisualisation`, ki deduje razred `JDialog`.

Implementacije posameznih vizualizacij uporabljajo enake pristope in algoritme, kot so uporabljeni pri 2D vizualizacijah.

5.2.4 Navigacija

Navigacija po posnetku poteka v korakih, katerega dolžina je enaka dolžini intervala za vizualizacijo L_v .

Po signalu se premikamo z:

- izbiro akcij v menuju Navigation.
- gumbi v orodni vrstici.
- uporabo drsnika.
- bližnjicami na tipkovnici.

Akcije za navigacijo so prikazane v tabeli 5.1.

Po izračunu nove začetne pozicije za prikaz vizualizacij posnetka se posodobijo vizualizacije, področja z informacijami o vizualizaciji in statusna vrstica. Posodobijo se vizualizacije v delovni površini glavnega okna in odprte 3D vizualizacije, če niso omejene na lokalni interval.

| Akcija | Bližnjica | Izračun nove pozicije t'_s v ms |
|---------------------------|------------------|-----------------------------------|
| Skoči na začetek posnetka | CTRL + Home | $t'_s = 0$ |
| Korak nazaj | CTRL + Page Up | $t'_s = t_s - L_v$ |
| Pol koraka nazaj | CTRL + Left | $t'_s = t_s - L_v/2$ |
| Pol koraka naprej | CTRL + Right | $t'_s = t_s + L_v/2$ |
| Korak naprej | CTRL + Page Down | $t'_s = t_s + L_v$ |
| Skoči na konec posnetka | CTRL + End | $t'_s = l - L_v$ |

Tabela 5.1: Akcije za navigacijo. t_s je trenutna pozicija v posnetku v ms, t'_s je nova pozicija v posnetku v ms, l je dolžina posnetka v ms.

Ob spremembi dolžine intervala vizualizacije L_v se, če je tako določeno v nastavitvah programa, nova pozicija za prikaz izračuna tako, da je zaokrožena na najbližji cel mnogokratnik $L_v/2$.

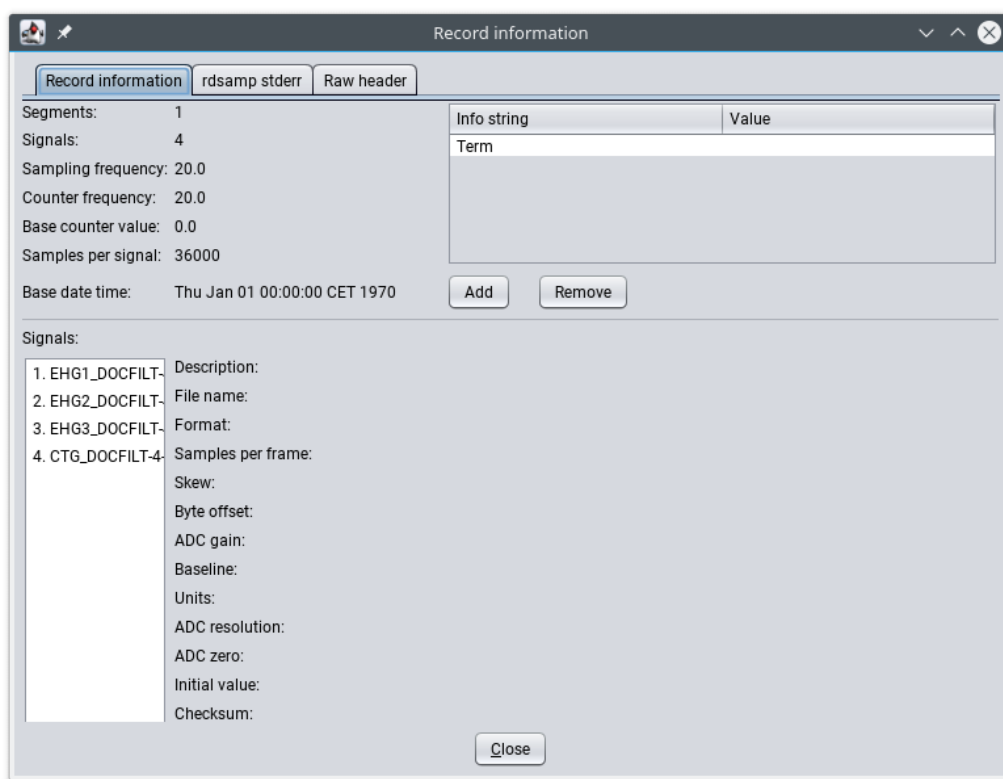
V VisuAA smo definirali začetni nabor intervalov, ki je skrbno izbran za delo s posnetki EHG: 1 s, 3 s, 5 s, 8 s, 15 s, 45 s, 3 min, 6 min, 9 min, 12 min, 15 min, 18 min, 21 min, 24 min, 27 min, 30 min, 60 min.

5.2.5 Informacije o posnetku

V oknu Record information (slika 5.5) lahko:

- pregledujemo in urejamo informacije o posnetku in signalih v njem.
- preverimo dnevniške zapise programa *rdsamp*, ki so nastali ob branju posnetka.
- urejamo zaglavno datoteko.

Okno je razdeljeno na več zavihkov:



Slika 5.5: Informacije o posnetku

Record information zgornji del vsebuje podatke, ki so skupni vsem signalom v posnetku. Spodnji del pa v JList grafičnem gradniku vsebuje seznam signalov posnetka, desno od njih pa informacije o izbranem signalu.

Na tem zavihku lahko uporabnik ureja informacijske tekste, ki se nahajajo v komentarjih zaglavne datoteke posnetka.

rdsamp stderr prikaz *stderr* programa *rdsamp*, ki vsebuje opozorila in napake, do katerih je prišlo med odpiranjem posnetka.

Raw header prikaz zaglavne datoteke, ki jo lahko tudi urejamo. Če se zazna spremembe v zaglavni datoteki, se na to opozori z dialogom za potrditev shranjevanja sprememb. Če potrdimo shranjevanje, se spremembe shranijo in posnetek ponovno odpre.

Okno za prikaz informacij o posnetku je implementirano v razredu `TPEHGRecordInformationDialog` paketa `gui`.

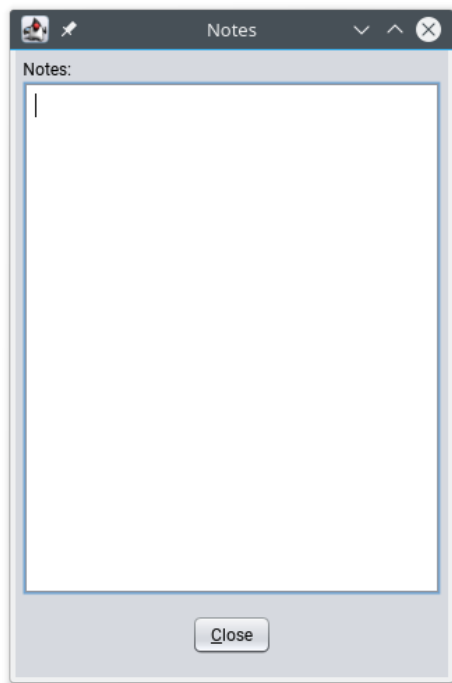
5.2.6 Zapiski

Zapiske odprtega posnetka lahko dodajamo in urejamo v oknu Notes (slika 5.6). Zapiski, ki niso del formata WFDB, so shranjeni v tekstovni datoteki formata UTF-8. Ime datoteke je sestavljeno iz imena zaglavne datoteke posnetka s končnico `cmt`, ki se nahaja v istem direktoriju kot zaglavna datoteka posnetka.

Okno za prikaz zapiskov je implementirano v razredu `TPEHGRecordNotes` paketa `gui`.

5.2.7 Nastavitve programa

V oknu z nastavitvami programa (slika 5.7) lahko spreminjamo nastavitve, ki vplivajo na vizualizacije in delovanje programa. Privzete vrednosti so izbrane za računalnike z operacijskim sistemom Linux, nameščenim programskim



Slika 5.6: Zapiski o posnetku

paketom The WFDB Software Package in monitorjem z resolucijo vsaj Full HD (1920×1080).

Okno je razdeljeno na več zavihkov:

Annotations vsebuje nastavitve, povezane z oznakami:

Default author privzeti avtor za shranjevanje oznak. Privzeta vrednost: ATR.

User defined annotations uporabniško definirane oznake. Vsaka oznaka je zapisana v svoji vrstici. Privzeta vrednost: prazno.

Annotation snap range maksimalna oddaljenost od trenutne pozicije markerja za zaznavanje oznake w_a , podano v točkah. Privzeta vrednost: 10.

Navigation vsebuje nastavitve, povezane z navigacijo po posnetku:



Slika 5.7: Okno z nastavitvami programa

Timespans (one per line) [ms] dolžine intervalov, ki definirajo korak navigacije in dolžino intervala vizualizacije L_v v ms. Vsaka dolžina intervala je zapisana v svoji vrstici. Privzeta vrednost: 1 s, 3 s, 5 s, 8 s, 15 s, 45 s, 3 min, 6 min, 9 min, 12 min, 15 min, 18 min, 21 min, 24 min, 27 min, 30 min, 60 min.

Default timespan [ms] privzeta dolžina intervala za vizualizacijo L_v v ms. Privzeta vrednost: 3 min.

Jump to nearest start time on time change če je izbrano, se ob spremembi dolžine intervala za vizualizacijo L_v zaokroži začetni čas tako, da je mnogokratnik $L_v/2$. Privzeta vrednost: izbrano.

Paths vsebuje nastavitve, povezane s potmi do programov v The WFDB Software Package:

rdsamp path pot do programa *rdsamp*. Privzeta vrednost: rdsamp.

rdann path pot do programa *rdann*. Privzeta vrednost: rdann.

wrann path pot do programa *wrann*. Privzeta vrednost: wrann.

snip path pot do programa *snip*. Privzeta vrednost: snip.

Visualisation – general vsebuje splošne nastavitve, povezane z vizualizacijami:

Max. visualisations to show število vizualizacijskih področij N_v . Privzeta vrednost: 4.

Inspection panel width širina področja z informacijami o vizualizaciji w_I v točkah. Privzeta vrednost: 300.

2D visualisation height celotna višina 2D vizualizacije $h_{v,2D}$ v točkah. Privzeta vrednost: 220.

2D visualisation width celotna širina 2D vizualizacije $w_{v,2D}$ v točkah. Privzeta vrednost: 1100.

Y padding višina obrobe 2D vizualizacije $h_{p,2D}$ v točkah. Privzeta vrednost: 25.

X padding širina obrobe 2D vizualizacije $w_{p,2D}$ v točkah. Privzeta vrednost: 70.

Y axis units to show število enot, ki se jih prikaže na y osi N_y . Vrednost mora biti liha. Privzeta vrednost: 7.

X axis units to show število enot, ki se jih prikaže na x osi N_x . Privzeta vrednost: 6.

Tick size velikost oznake enote na osi, v točkah. Privzeta vrednost: 3.

3D visualisation height celotna višina 3D vizualizacije $h_{v,3D}$ v točkah. Privzeta vrednost: 600.

3D visualisation width celotna širina 3D vizualizacije $w_{v,3D}$ v točkah. Privzeta vrednost: 800.

Max. visualisation length for local interval [ms] maksimalna dolžina lokalnega intervala L_l , ki se upošteva v vizualizaciji, v ms. Privzeta vrednost: 16 min.

Visualisation – colors vsebuje nastavitve, ki določajo uporabljene barve vizualizacij. Privzete vrednosti so podane v šestnajstičnem zapisu v formatu RGB ali RGBA, odvisno od števila kanalov, ki jih privzeta nastavitve potrebuje. Nastavitve so:

Background color barva ozadja. Privzeta vrednost: 0xFFFFFFFF.

Axis color barva osi. Privzeta vrednost: 0x000000.

Inspection line color barva markerja. Privzeta vrednost: 0xFF0000.

Annotation line color barva črte oznake. Privzeta vrednost: 0x0000FF.

Annot. int. baby color barva osenčenja intervala tipa otrok. Privzeta vrednost: 0x00FF0080.

Annot. int. baby movement color barva osenčenja intervala tipa premik otroka. Privzeta vrednost: 0x00FFFF80.

Annot. int. contraction color barva osenčenja intervala tipa popadek. Privzeta vrednost: 0xFF000080.

Annot. int. electrical activity color barva osenčenja intervala tipa električna aktivnost. Privzeta vrednost: 0x2C75FF80.

Annot. int. local int. color barva osenčenja intervala tipa lokalni interval. Privzeta vrednost: 0xFF00FF80.

Selected local interval color barva osenčenja izbranega lokalnega intervala. Privzeta vrednost: 0x33333380.

Annot. int. noise color barva osenčenja intervala tipa šum. Privzeta vrednost: 0xFFFF0080.

Visualisation – signal vsebuje nastavitve, povezane z vizualizacijo signala:

Amplitudes (one per line) [μV] amplitude A , ki se uporabijo za preglednejšo vizualizacijo signala v μV . Vsaka amplituda je zapisana v svoji vrstici. Privzeta vrednost: 1 μV , 2 μV , 5 μV , 10 μV , 20 μV , 50 μV , 75 μV , 100 μV , 150 μV , 200 μV , 300 μV , 400 μV , 500 μV , 750 μV , 1 mV, 2 mV, 3 mV, 4 mV, 5 mV, 10 mV, 20 mV.

Default amplitude [μV] privzeta amplituda A , v μV . Privzeta vrednost: 50 μV .

Show samples tip prikaza vzorcev signala. Privzeta vrednost: samo najbližji.

Shade annotation intervals osenči intervale, ki jih definirajo oznake. Privzeta vrednost: izbrano.

Show clipping opozori na vrednosti signala, ki presežejo trenutne omejitve vizualizacije. Privzeta vrednost: izbrano.

Show gridlines prikaži črte enotske mreže. Privzeta vrednost: izbrano.

Signal color barva, s katero se izriše signal. Privzeta vrednost: 0x3333FF.

Gridline color barva črt mreže. Privzeta vrednost: 0xC0C0C0.

Signal clipping color barva, s katero se opozori na intervale, kjer vrednost signala preseže trenutne omejitve vizualizacije. Privzeta vrednost: 0xFF0000.

Visualisation – spectrogram vsebuje nastavitve, povezane s spektrogramom STFT:

Default overlap privzeto število vzorcev, ki se prekrivajo med sosednjimi okni o . Privzeta vrednost: 128.

Default window length privzeta dolžina okna L_w . Privzeta vrednost: 256.

Default window privzeto okno, ki se uporabi za izračun STFT. Privzeta vrednost: Hammingovo okno.

Default colormap privzeta barvna preslikava. Privzeta vrednost: Jet.

Use visualisation bands v vizualizaciji uporabi vizualizacijske pasove. Privzeta vrednost: izbrano.

Shade annotation intervals osenči intervale, ki jih definirajo oznake. Privzeta vrednost: neizbrano.

Normalize 3D spectrogram normaliziraj vrednosti v 3D spektrogramu. Privzeta vrednost: izbrano.

Visualisation – Wigner–Ville vsebuje nastavitve, povezane z Wigner–Ville–jevim spektrogramom:

Default time skip privzeto število vzorcev, ki se jih preskoči v izračunu Wigner–Ville–jeve distribucije. Privzeta vrednost: 50.

Default colormap privzeta barvna preslikava. Privzeta vrednost: Jet.

Use visualisation bands v vizualizaciji uporabi vizualizacijske pasove. Privzeta vrednost: izbrano.

Shade annotation intervals osenči intervale, ki jih definirajo oznake.

Privzeta vrednost: neizbrano.

Normalize 3D Wigner–Ville spectrogram normaliziraj vrednosti v 3D Wigner–Ville–jevemu spektrogramu. Privzeta vrednost: izbrano.

Visualisation – bands vsebuje definicije vizualizacijskih pasov. Zapisani so v tabeli, v kateri lahko parametre pasov spreminjamo. Vsak pas je definiran z:

- opisom.
- začetno frekvenco vizualizacijskega pasu $f_{b,s}$ v Hz.
- končno frekvenco vizualizacijskega pasu $f_{b,e}$ v Hz.

Pasove lahko brišemo in dodajamo z gumboma Remove band in Add band. Privzeti vizualizacijski pas je od 0 Hz do 5 Hz.

Visualisation – scalogram DWT nastavitve skalograma DWT:

Default wavelet privzeti valček. Privzeta vrednost: Haar.

Default colormap privzeta barvna preslikava. Privzeta vrednost: Jet.

Default scalogram type privzet tip skalograma. Privzeta vrednost: delež za vsako skalo.

Default values to visualise tip privzete vrednosti za vizualizacijo: absolutna vrednost ali moč. Privzeta vrednost: absolutna vrednost.

Visualisation – scalogram CWT nastavitve skalograma CWT:

Default wavelet privzeti valček. Privzeta vrednost: odvod Gaussove funkcije.

Order of wavelet ali ω_0 red odvoda Gaussove funkcije ali ω_0 , odvisno od izbranega privzetega valčka. Privzeta vrednost: 2.

Default scalogram type privzet tip skalograma. Privzeta vrednost: delež za vsako skalo z zapolnjenimi izohipsami.

Default values to visualise tip privzete vrednosti za vizualizacijo: absolutna vrednost ali moč. Privzeta vrednost: absolutna vrednost.

Default colormap privzeta barvna preslikava. Privzeta vrednost: Jet.

Default contour levels število nivojev, za katere se izračuna izohipse. Privzeta vrednost: 100.

Log contour levels če je nastavek izbrana, so nivoji izohips razdeljeni logaritmično, sicer linearno. Privzeta vrednost: neizbrano.

Show pseudo frequencies instead of scales če je nastavek izbrana, se na y osi vizualizacije prikaže psevdofrekvence namesto skal. Privzeta vrednost: neizbrano.

Normalize 3D scalogram normaliziraj vrednosti v 3D skalogramu. Privzeta vrednost: izbrano.

Visualisation – spectrum nastavitve, povezane s spektrom:

Window privzeto okno, ki se uporabi za izračun STFT. Privzeta vrednost: Hammingovo okno.

Type tip vrednosti za vizualizacijo. Privzeta vrednost: absolutna vrednost.

Normalization tip normalizacije. Privzeta vrednost: normaliziraj.

Resolution [Hz] minimalna resolucija spektra v Hz. Privzeta vrednost: 0,1.

Use visualisation bands v vizualizaciji uporabi vizualizacijske pasove. Privzeta vrednost: izbrano.

Color barva, s katero se izriše spekter. Privzeta vrednost: 0x3333FF.

Z uporabo akcije Reset to defaults vse nastavitve povrnemo na privzete vrednosti.



Slika 5.8: Informacije o programu

Nastavitve so implementirane z uporabo Java Preferences knjižnice, ki je del JRE. Privzete vrednosti so definirane v finalnem razredu `TPEHGVisualiserDefaults` s statičnimi polji. Okno z nastavitvami programa je implementirano v razredu `PreferencesDialog` paketa `gui`.

Večino nastavitev, ki vplivajo na vizualizacije, lahko spreminjamo tudi na posameznem vizualizacijskem področju.

5.2.8 Informacije o programu

Okno z osnovnimi informacijami o programu (slika 5.8), ki je implementirano v razredu `AboutBoxDialog` paketa `gui`.

5.3 Odpiranje in shranjevanje posnetka

Za odpiranje in shranjevanje posnetka v grafičnem orodju VisuAA uporabljamo razčlenjevanje tekstovnih datotek in programe programskega paketa `The WFDB Software Package`.

5.3.1 Odpiranje posnetka

Za odpiranje posnetka smo uporabili razčlenjevanje zaglavne datoteke za branje informacij o posnetku in signalih v posnetku. Iz zaglavne datoteke

preberemo vse lastnosti posnetka in signalov, ki so definirane v formatu WFDB [25]. Glavne lastnosti, ki jih preberemo, so:

- ime posnetka.
- število signalov N_s v posnetku.
- frekvenca vzorčenja f_s .
- število vzorcev.
- datum in čas posnetka.
- ojačitev A/D pretvornika g .
- opis posnetka.

Posamezne signale preberemo z uporabo programa *rdsamp*, ki je del programskega paketa The WFDB Software Package. *rdsamp* izpiše vrednosti vzorcev signalov posnetka na standardni izhod. V vsaki vrstici so vrednosti vzorca signalov zapisane v stolpcih, ki so ločeni s tabulatorji ali presledki.

Nato preberemo intervale popadkov iz tekstovne datoteke, ki ima enako ime kot zaglavna datoteka, le da končnico zamenjamo z *int*. V vsaki vrstici datoteke je zapisan en popadek, ki je definiran z indeksoma začetnega in končnega vzorca popadka. Indeksa sta zapisana v stolpcih, ki sta ločena s presledki ali tabulatorji.

Preberemo še oznake posnetka z uporabo programa *rdann*, ki je del programskega paketa The WFDB Software Package. Vsako datoteko, ki ima isto ime kot zaglavna datoteka, poizkusimo odpreti s programom *rdann*. *rdann* izpiše informacije o oznakah na standardni izhod. Oznake so lahko v formatu WFDB postavljene na le en signal v posnetku, zaradi načina dela s posnetki v VisuAA pa smo uvedli poenostavitev, da oznake veljajo za vse signale posnetka. Preberemo naslednje lastnosti oznake:

- indeks vzorca, na katerem je postavljena oznaka.
- tip in podtip oznake.

- opis oznake.

Za konec preberemo še zapiske o posnetku iz datoteke, ki ima enako ime kot zaglavna datoteka, le da končnico zamenjamo s `cmt`. Datoteka z zapiski je tekstovna datoteka formata UTF-8.

5.3.2 Shranjevanje posnetka

Zaglavno datoteko zapišemo kot tekstovno datoteko. Nato z uporabo programa *wrann*, ki je del programskega paketa The WFDB Software Package, zapišemo oznake posnetka. *wrann* iz standardnega vhoda prebere podatke o oznakah in jih zapiše v formatu WFDB.

Nato shranimo zapiske o posnetku v tekstovno datoteko formata UTF-8. Ime datoteke je enako imenu zaglavne datoteke s končnico `cmt`.

Za konec shranimo še informacijske tekste v zaglavno datoteko.

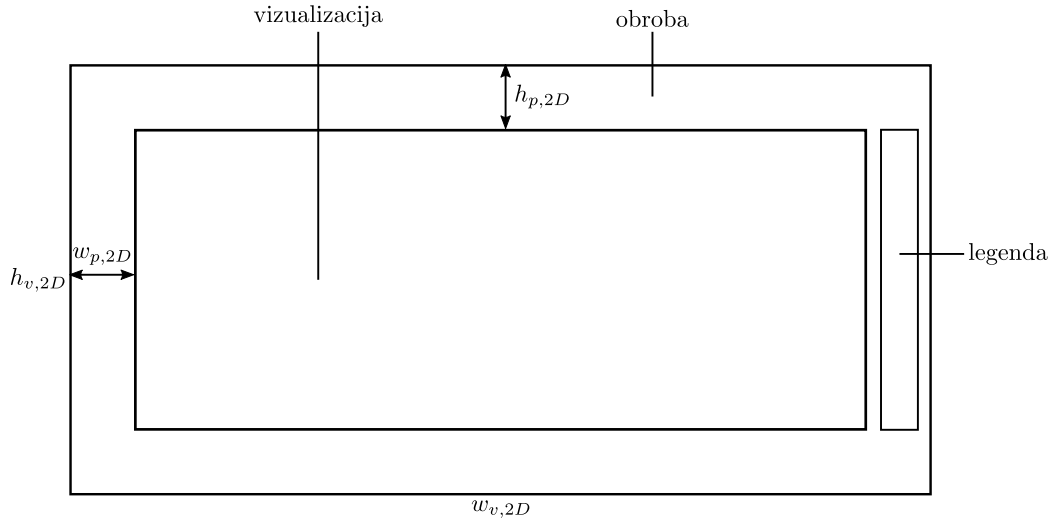
5.3.3 Shranjevanje lokalnega intervala

S programom *snip*, ki je del programskega paketa The WFDB Software Package, prekopiramo del posnetka, ki ga definira izbrani lokalni interval, v nov posnetek.

Nato z uporabo programa *wrann*, ki je del programskega paketa The WFDB Software Package, zapišemo oznake posnetka. *wrann* iz standardnega vhoda prebere podatke o oznakah in jih zapiše v formatu WFDB. S tem zagotovimo, da so v novem posnetku tudi oznake, ki še niso shranjene v odprtem posnetku.

Potem shranimo zapiske o posnetku v tekstovno datoteko formata UTF-8. Ime datoteke je enako imenu zaglavne datoteke s končnico `cmt`.

Za konec shranimo še informacijske tekste v zaglavno datoteko.



Slika 5.9: Geometrija 2D vizualizacije

5.4 Vizualizacije

Želen tip 2D vizualizacije izberemo v podmeniju z akcijami za vsako vizualizacijsko področje ali v podmeniju 2D (local interval). Želen tip 3D vizualizacije pa izberemo preko podmenijev 3D ali 3D (local interval).

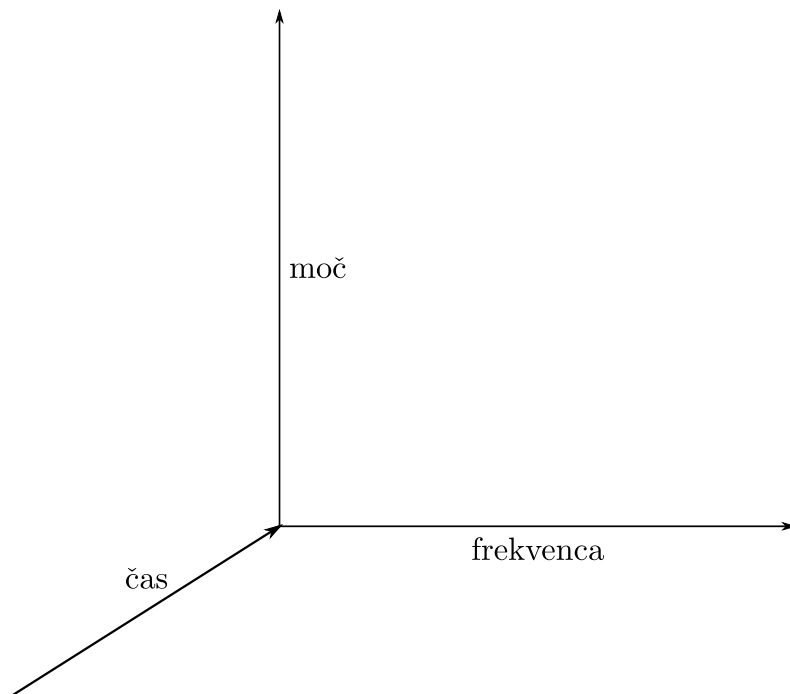
Vizualizacije lahko shranimo v bitno sliko formata PNG z uporabo akcije Save image as... Shranimo lahko tudi rezultate metode, ki smo jo uporabili za vizualizacijo. Rezultate shranimo z uporabo akcije Save results as... Rezultati se shranijo v tekstovno datoteko formata UTF-8, katere struktura je definirana v opisu vizualizacij, ki shranjevanje podpirajo.

Vizualizira se del signala $x(t)$, $t_s \leq t \leq t_s + L_v$.

5.4.1 Geometrija 2D vizualizacije

Geometrija splošne 2D vizualizacije je predstavljena na sliki 5.9. Celotne dimenzije vizualizacije so $w_{v,2D} \times h_{v,2D}$, vizualizacija pa se izriše v notranjem delu z dimenzijami $(w_{v,2D} - 2w_{p,2D}) \times (h_{v,2D} - 2h_{p,2D})$. V obrobi s širino $w_{p,2D}$ in višino $h_{p,2D}$ se izrišejo:

- nazivi osi.



Slika 5.10: Geometrija grafa 3D vizualizacije

- legenda barvne preslikave, če jo vizualizacija uporablja.
- začetek in konec intervala za vizualizacijo. Začetek intervala je izpisano levo zgoraj, konec pa desno zgoraj. Izpisana sta samo v prvem vizualizacijskem področju.

5.4.2 Geometrija 3D vizualizacije

Geometrija grafa splošne 3D vizualizacije je predstavljena na sliki 5.10. Celotna dimenzija okna za 3D vizualizacijo je $w_{v,3D} \times h_{v,3D}$, velikost področja za vizualizacijo pa se določi dinamično glede na velikost orodne vrstice, področja z informacijami o vizualizaciji in statusne vrstice. V desnem delu vizualizacijskega področja je prikazana legenda barvne preslikave.

5.4.3 Barvne preslikave

V vizualizacijah za lažjo interpretacijo rezultatov uporabljamo barvne preslikave (poglavje 3.2). Implementirali smo jih tako, da so barvne preslikave definirane na intervalu $[0, 1]$, v katerega se preslika zaloga vrednosti Z_f funkcije $f(x, y)$, ki jo vizualiziramo. Izberemo N_c intervalov in $N_c + 1$ barv. Intervale lahko določimo samo s spodnjo mejo intervala, saj velja:

$$[z_1, z_2) \cup [z_2, z_3) \cup \dots \cup [z_{N_c}, z_{N_c+1}] = [0, 1] \quad (5.1)$$

$$z_{N_c+1} = 1 \quad (5.2)$$

Psevdokoda algoritma za določitev barve z uporabo barvnih preslikav je na sliki 5.11.

Ker barvne preslikave uporabljamo v toplotnih, reliefnih in 3D ploščinskih grafih, so v večini izbranih barvnih preslikav barve razporejene od hladne do tople [21]. Na voljo so barvne preslikave v tabeli 5.2. Za lažjo uporabo smo se odločili za implementacijo podobnih barvnih preslikav, kot so v Matlabu. Če v vizualizaciji uporabimo barvno preslikavo, se na desni strani grafa izriše legenda barvne preslikave.

Barvne preslikave so implementirane v paketu `wfdb.visualisation.colormap` kot dediči abstraktnega razreda `Colormap`.

5.4.4 Signal

Osnovna vizualizacija, ki prikaže signal (slika 5.12).

Za vizualizacijo signala se uporabi vzorec, ki je najbližji trenutni x koordinati grafa:

$$n = \frac{t_s \cdot f_s}{1000} + \left\lceil x' \frac{L_v \cdot f_s}{1000 \cdot w'_v} \right\rceil \quad (5.3)$$

$$w'_v = w_v - 2w_p \quad (5.4)$$

$$x' = x - 2w_p \quad (5.5)$$

Konstante:

| | |
|--|--|
| $z_{min} = \min_{\forall x,y} f(x,y):$ | minimalna vrednost |
| $z_{max} = \max_{\forall x,y} f(x,y):$ | maksimalna vrednost |
| $N:$ | število intervalov |
| $c_i:$ | barve, $1 \leq i \leq N + 1$ |
| $z'_i:$ | spodnje meje intervalov, $1 \leq i \leq N$ |

Vhod:

| | |
|------|---|
| $v:$ | vrednost, za katero želimo določiti barvo |
|------|---|

Izhod:

| | |
|------|-----------------------|
| $c:$ | barva, ki ustreza v |
|------|-----------------------|

procedure map_value_to_color(v);

```

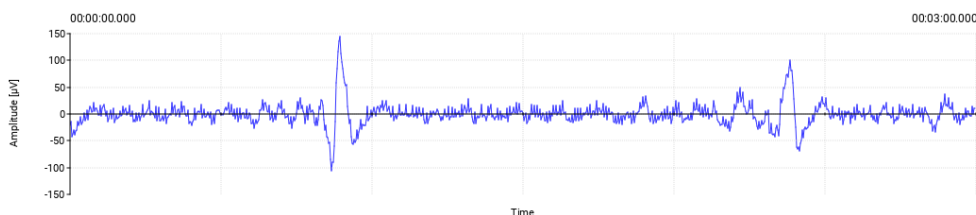
     $c_{start} = c_0;$ 
     $c_{end} = c_{N+1};$ 
     $v = v - z_{min};$ 
     $r = z_{max} - z_{min};$ 
    for  $i = N$  downto 1 do
        if ( $\frac{v}{r} > z_i$ ) then
             $c_{start} = c_i;$ 
             $c_{end} = c_{i+1};$ 
             $v = v - z_i * r;$ 
             $r = r * (z_{i+1} - z_i);$ 
            break;
        endif
    enddo
    set_red( $c, \frac{r-v}{r} * \text{get\_red}(c_{start}) + \frac{v}{r} * \text{get\_red}(c_{end})$ );
    set_green( $c, \frac{r-v}{r} * \text{get\_green}(c_{start}) + \frac{v}{r} * \text{get\_green}(c_{end})$ );
    set_blue( $c, \frac{r-v}{r} * \text{get\_blue}(c_{start}) + \frac{v}{r} * \text{get\_blue}(c_{end})$ );
end\_procedure

```

Slika 5.11: Psevdokoda algoritma za določitev barve. Procedure `get_red(c)`, `get_green(c)`, `get_blue(c)` vrnejo vrednost izbrane barvne komponente barve c . Procedure `set_red(c, v)`, `set_green(c, v)`, `set_blue(c, v)` nastavijo vrednost izbrane barvne komponente barve c na v .

| Barvna preslikava | Barve | Intervali |
|-------------------|----------------------------|--|
| Autumn | rdeča, rumena | $[0, 1]$ |
| Cool | cian, magenta | $[0, 1]$ |
| Gray | črna, bela | $[0, 1]$ |
| Hot | črna, rdeča, rumena, bela | $[0, \frac{1}{3}), (\frac{1}{3}, \frac{2}{3}], (\frac{2}{3}, 1]$ |
| Jet | modra, cian, rumena, rdeča | $[0, \frac{1}{3}), (\frac{1}{3}, \frac{2}{3}], (\frac{2}{3}, 1]$ |
| Spring | magenta, rumena | $[0, 1]$ |
| Summer | 0x008066, 0xFFFF66 | $[0, 1]$ |
| Winter | modra, 0x00FF80 | $[0, 1]$ |

Tabela 5.2: Barvne preslikave. Barve so podane s standarnimi imeni. Če ime za barvo ne obstaja, je podana v šestnajstiškem zapisu v formatu RGB.



Slika 5.12: Signal. Prikazan je signal EHG1 posnetka emv181087 na intervalu od 00:00 min do 03:00 min.

Spremenljivke so:

- n celoštevilski indeks vzorca.
- t_s začetek trenutnega intervala vizualizacije v ms.
- f_s frekvenca vzorčenja v Hz.
- x koordinata, za katero želimo izračunati vzorec.
- L_v dolžina intervala za vizualizacijo.
- w_v širina območja za vizualizacijo.

- w_p širina obrobe vizualizacije.

Za preglednejši prikaz se pri vizualizaciji upošteva vrednost amplitude A . Izbrana amplituda določi enoto y osi grafa:

$$y = \frac{h_{v,2D}}{2} - y' \quad (5.6)$$

$$y' = \left\lceil \frac{x(n) \cdot s_s}{s_y \cdot h_y} \right\rceil \quad (5.7)$$

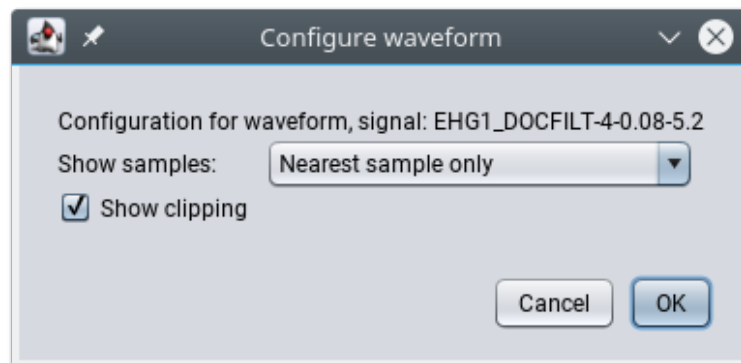
$$s_y = \frac{g \cdot A}{1000} \quad (5.8)$$

$$h_y = \frac{h_{v,2D} - 2y_p}{N_y} \quad (5.9)$$

Spremenljivke so:

- y celoštevilka y koordinata, ki ustreza vrednosti vzorca.
- $h_{v,2D}$ višina 2D vizualizacije.
- $x(n)$ vrednost n -tega vzorca.
- s_s faktor za pretvorbo vrednosti vzorca iz enote signala v V. Če je enota signala mV, je $s_s = 1000$.
- s_y faktor za pretvorbo vrednosti vzorca iz V v točke.
- g ojačitev A/D pretvornika, ki je bil uporabljen pri zajemanju signala. Vrednost se prebere iz zaglavne datoteke.
- A izbrana amplituda.
- y_p višina obrobe vizualizacije.
- N_y število enot na y osi.

Če izračunana y vrednost vzorca preseže maksimalne dimenzije področja za vizualizacijo, se:



Slika 5.13: Okno z nastavitvami vizualizacije signala

- izpiše opozorilo v področju z informacijami o vizualizaciji.
- obarva del signala, kjer y vrednost preseže dimenzije področja.

Parametre vizualizacije lahko spreminjamo v oknu za konfiguracijo vizualizacije signala (slika 5.13). Spreminjamo lahko parametre:

Show samples vizualiziraj vse vzorce ali le vzorec, ki ustreza trenutni x koordinati.

Show clipping poudari del signala, ki preseže dimenzije področja za vizualizacijo, z drugačno barvo.

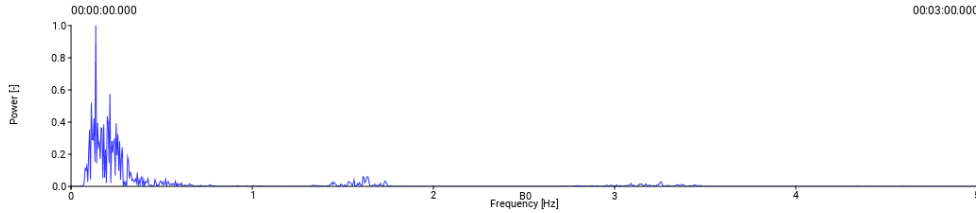
Vizualizacija je implementirana v razredu Waveform paketa wfdb.visualisation.

5.4.5 Fouriereva transformacija in spekter

S spektrom vizualiziramo frekvenčno vsebino signala (slika 5.14). Spekter signala $x(n)$ izračunamo z uporabo DFT, po postopku opisanem v [22]. Pseudokoda algoritma je prikazana na sliki 5.15.

Parametre vizualizacije lahko spreminjamo v oknu za konfiguracijo spektra (slika 5.16). Spreminjamo lahko parametre:

Window okno $w(n)$.



Slika 5.14: Spekter signala. Prikazan je močnostni spekter signala EHG1 posnetka emv181087 na intervalu od 00:00 min do 03:00 min.

Konstante:

| | |
|---------|--------------------------------|
| f_s : | frekvenca vzorčenja [Hz] |
| f_r : | želena resolucija spektra [Hz] |
| N : | število vzorcev v signalu |

Vhod:

| | |
|----------|--------|
| $x(n)$: | signal |
| $w(n)$: | okno |

Izhod:

| | |
|------------|-----------------|
| $DFT(k)$: | koeficienti DFT |
|------------|-----------------|

procedure spectrum($DFT(k)$);

$N' = \max(N, \frac{f_s}{f_r});$

$N' = \text{next_pow_of_2}(N');$

$v(.) = \text{apply_window_and_pad}(x(n), w(n), N, N');$

$DFT(.) = \text{fft}(v(.));$

end_procedure

Slika 5.15: Pseudokoda algoritma za izračun spektra. Procedura `next_pow_of_2(N)` vrne N' , ki je N zaokrožen na potenco 2, tako da $N' \geq N$. Procedura `apply_window_and_pad($x(n)$, $w(n)$, N , N_p)` signal $x(n)$ dolžine N pomnoži z oknom $w(n)$ dolžine N in nato doda toliko ničel, da je dolžina vrnjenega signala enaka N_p . Procedura `fft($x(n)$)` vrne DFT signala $x(n)$.

Type vrednost, ki jo želimo vizualizirati:

- absolutna vrednost.
- moč.

Normalization tip normalizacije:

- brez normalizacije.
- normalizacija.
- normalizacija glede na interval od 0 do 1 Hz.

Resolution [Hz] želena resolucija spektra v Hz.

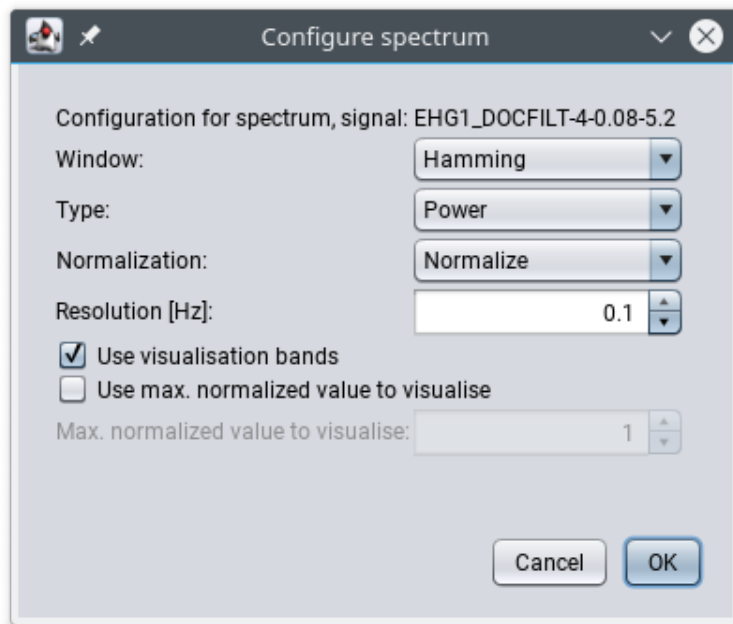
Use visualisation bands uporaba vizualizacijskih pasov.

Use max. normalized value to visualise upoštevaj maksimalno normalizirano vrednost za prikaz v vizualizaciji. Izbira je omogočena le, če smo izbrali normalizacijo.

Max. normalized value to visualise maksimalna normalizirana vrednost za prikaz v vizualizaciji.

Rezultate vizualizacije lahko shranimo v tekstovno datoteko formata UTF-8. Podatki so shranjeni v vrsticah, polja v vrstici so ločena s tabulatorji. Struktura datoteke je opisana v tabeli 5.3.

Izračun spektra je implementiran v razredu `WindowedFourier` paketa `dsp.transforms`. Diskretno Fourierovo transformacijo (DFT) izračunamo z uporabo algoritma za hiter izračun Fourierove transformacije (FFT), ki je implementiran v knjižnici `JTransforms`. Okna, ki so na voljo, so implementirana v paketu `dsp.windows` kot dediči abstraktnega razreda `Window`. Implementirali smo okna, ki so predstavljena v dodatku B.



Slika 5.16: Okno za konfiguracijo vizualizacije spektra

5.4.6 STFT in spektrogram

V grafičnem orodju VisuAA za izračun spektrograma (slika 5.17) uporabljamo diskretno Fourierjevo transformacijo signala $x(n)$ z drsečim oknom $w(n)$. Psevdokoda algoritma za izračun STFT je prikazana na sliki 5.18.

Parametre vizualizacije lahko spreminjamo v oknu za konfiguracijo spektrograma (slika 5.19). Spreminjamo lahko parametre:

Overlap število vzorcev prekrivanja o .

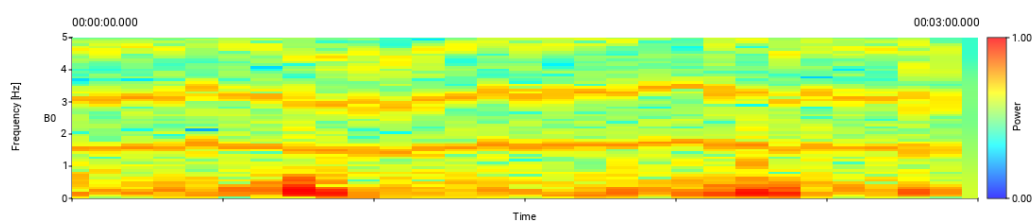
Window okno $w(n)$.

Window length dolžina okna L_w .

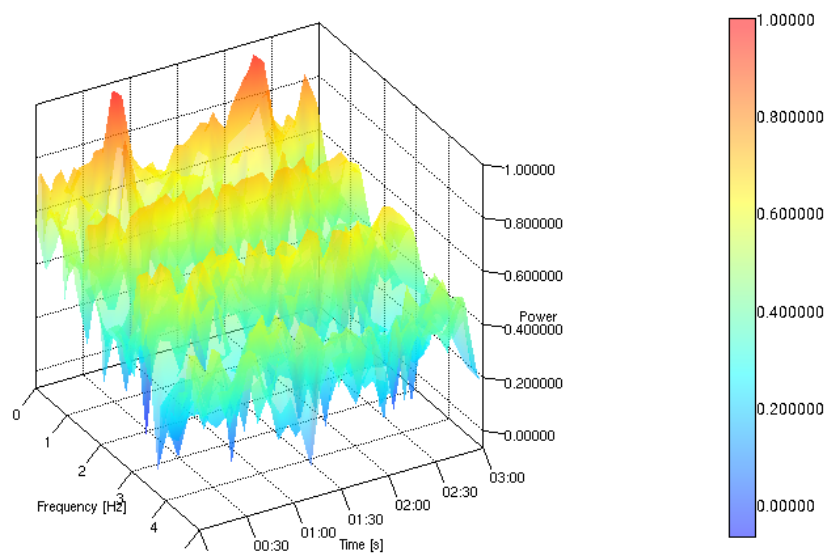
Use visualisation bands uporaba vizualizacijskih pasov.

Colormap uporabljena barvna preslikava.

Type tip skale (linearna ali logaritmična skala).



(a) 2D spektrogram



(b) 3D spektrogram

Slika 5.17: Spektrogram signala. Prikazan je spektrogram signala EHG1 posnetka emv181087 na intervalu od 00:00 min do 03:00 min. Uporabljeno je Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$.

Konstante:

L_w : dolžina okna
 o : število vzorcev, ki se prekrivajo med sosednjimi okni
 N : število vzorcev v signalu

Vhod:

$x(n)$: signal
 $w(n)$: okno

Izhod:

$STFT(n, \omega)$: koeficienti STFT

procedure stft($STFT(n, \omega)$);

$d = L_w - o$;

$i = 0$;

$n = 0$;

while $i < N$ **do**

$v(.) = w(x(i : \min(i + L_w, N)))$;

if $N \leq i + L_w$ **then**

$v(.) = \text{zero_pad}(v(.), L_w)$;

endif

$STFT(n, .) = \text{fft}(v(.))$;

$n = n + 1$;

$i = i + d$;

enddo

end_procedure

Slika 5.18: Psevdokoda algoritma za izračun STFT. Procedura $\text{zero_pad}(x(n), N)$ vrne signala $x(n)$ in mu doda toliko ničel, da je število vrnjenih vzorcev enako N . Procedura $\text{fft}(x(n))$ vrne DFT signala $x(n)$.

| Vrstica | Pomen |
|---------|--|
| 1 | pot do zaglavne datoteke signala |
| 2 | naziv posnetka |
| 3 | opis posnetka |
| 4 | indeks signala v posnetku |
| 5 | indeks prvega in zadnjega vzorca v vizualizaciji |
| 6 | izbrano okno |
| 7 | seznam kompleksnih koeficientov DFT, ločenih s tabulatorji. Realni in imaginarni del kompleksnega števila sta ločena s tabulatorjem. |

Tabela 5.3: Struktura datoteke z rezultati spektra

Normalize uporaba normalizacije (samo za 3D spektrogram).

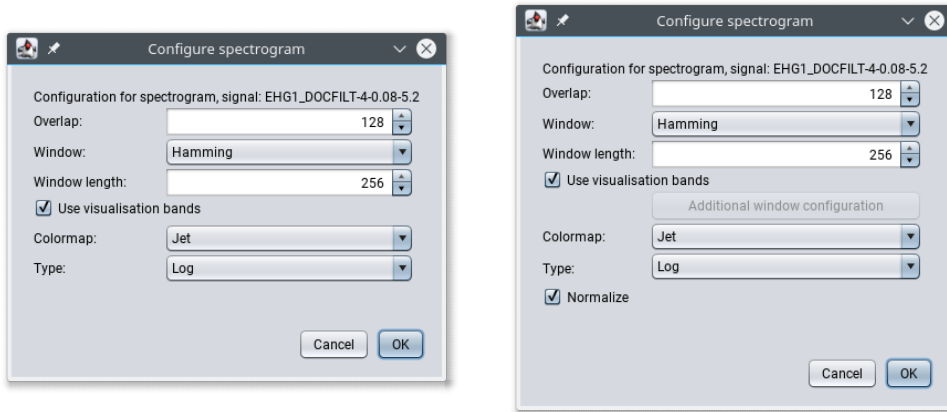
Rezultate vizualizacije lahko shranimo v tekstovno datoteko formata UTF-8. Podatki so shranjeni v vrsticah, polja v vrstici so ločena s tabulatorji. Struktura datoteke je opisana v tabeli 5.4.

Izračun STFT je implementiran v razredu STFT paketa `dsp.transforms`. DFT izračunamo z uporabo algoritma FFT, ki je implementiran v knjižnici `JTransforms`. Okna, ki so na voljo, so implementirana v paketu `dsp.windows` kot dediči abstraktnega razreda `Window`. Implementirali smo okna, ki so predstavljena v dodatku B.

5.4.7 Wigner–Ville–jev spektrogram

V grafičnem orodju `VisuAA` smo za izračun Wigner–Ville–jeve distribucije uporabili algoritem, predstavljen v [26], ki za izračun uporablja FFT. Primer Wigner–Ville–jevega spektrograma je na sliki 5.20. Psevdokoda algoritma je prikazana na sliki 5.21.

Parametre vizualizacije lahko spreminjamo v oknu za konfiguracijo Wigner–Ville–jevega spektrograma (slika 5.22). Spreminjamo lahko parametre:



(a) Nastavitve 2D spektrograma

(b) Nastavitve 3D spektrograma

Slika 5.19: Okno z nastavitvami spektrograma signala

Sample skip število vzorcev N_{skip} , ki se jih v izračunu preskoči.

Visualisation threshold (log only) [%] močnostni prag za prikaz. Upošteva se ga samo, če se za vizualizacijo uporablja logaritmična skala.

Use visualisation bands uporaba vizualizacijskih pasov.

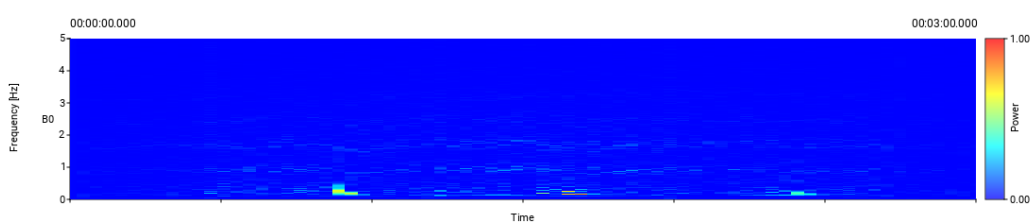
Colormap uporabljena barvna preslikava.

Type tip skale (linearna ali logaritmična skala).

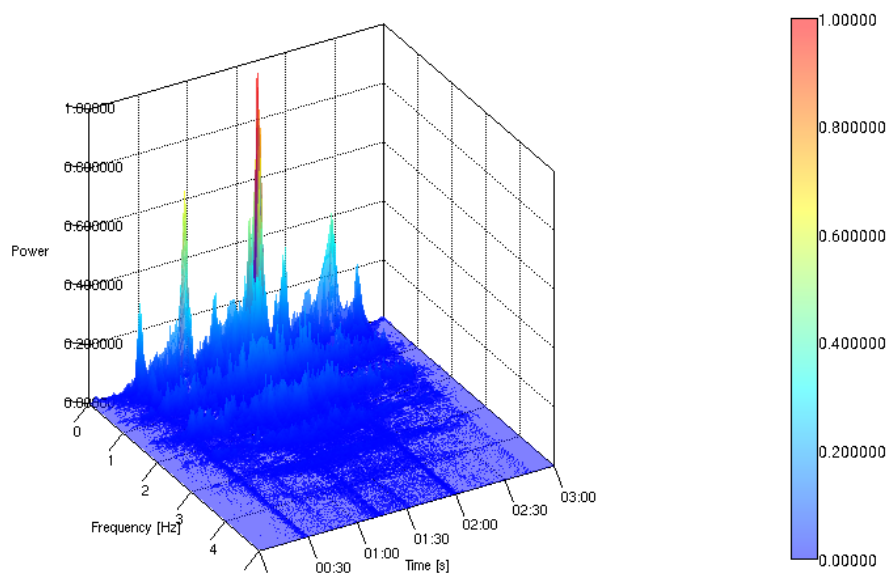
Normalize uporaba normalizacije (samo za 3D Wigner–Ville–jev spektrogram).

Kljub uporabi FFT je izračun Wigner–Ville–jevega spektrograma v primerjavi s STFT spektrogramom počasnejši, kar smo omilili z:

- uporabo večnitnega programiranja.
- Wigner–Ville–jevo distribucijo izračunamo v manj točkah, kar dosežemo s preskakovanjem vzorcev v vhodnem signalu.



(a) 2D Wigner–Ville–jev spektrogram



(b) 3D Wigner–Ville–jev spektrogram

Slika 5.20: Wigner–Ville–jev spektrogram signala. Prikazan je Wigner–Ville–jev spektrogram signala EHG1 posnetka emv181087 na intervalu od 00:00 min do 03:00 min. Uporabljena je linearna skala in $N_{skip} = 50$.

Konstante:

| | |
|--------------|-------------------------------------|
| N_{skip} : | število vzorcev, ki se jih preskoči |
| $N_{f,b}$: | število frekvenčnih košev |
| N : | število vzorcev v signalu |

Vhod:

| | |
|----------|--------|
| $x(n)$: | signal |
|----------|--------|

Izhod:

| | |
|-------------------|---|
| $WV(n, \omega)$: | koefficienti Wigner–Ville–jeve distribucije |
|-------------------|---|

procedure $wv(WV(n, \omega))$;

$h_x(.) = \text{hilbert}(x(n))$;

$i = 0$;

$n = 0$;

while $i < N/N_{skip}$ **do**

$wv(.) = \text{zeros}(N_{f,b})$;

$t_i = i * N_{skip}$;

$\tau_{max} = \min(t_i, N - t_i - 1, N_{f,b}/2 - 1)$;

for $\tau = -\tau_{max}$ **to** τ_{max} **do**

$j = (N_{f,b} + \tau) \bmod N_{f,b}$;

$wv(j) = h_x(t_i + \tau) * \overline{h_x(t_i - \tau)}$;

enddo

$\tau = N_{f,b}/2$;

if $((t_i + 1) \leq (N - \tau)) \wedge ((t_i + 1) \geq (\tau + 1))$ **then**

$wv(\tau + 1) = 0.5 * \left(h_x(t_i + \tau) * \overline{h_x(t_i - \tau)} + \right.$
 $\left. + h_x(t_i - \tau) * \overline{h_x(t_i + \tau)} \right)$;

endif

$wv(.) = \text{fft}(wv)$;

$WV(n, .) = wv(.)$;

$n = n + 1$;

$i = i + N_{skip}$;

enddo

end_procedure

Slika 5.21: Psevdokoda algoritma za izračun Wigner–Ville–jeve distribucije. Število frekvenčnih košev, $N_{f,b}$, vpliva na resolucijo Wigner–Ville–jeve distribucije. V naši implementaciji je $N_{f,b} = N$. Procedura $\text{zeros}(L)$ vrne polje dolžine L , ki vsebuje ničle. Procedura $\text{fft}(x(n))$ vrne DFT signala $x(n)$.

| Vrstica | Pomen |
|-----------------------|--|
| 1 | pot do zaglavne datoteke signala |
| 2 | naziv posnetka |
| 3 | opis posnetka |
| 4 | indeks signala v posnetku |
| 5 | indeks prvega in zadnjega vzorca v vizualizaciji |
| 6 | izbrano okno, dolžina okna in število vzorcev prekrivanja |
| 7 - do konca datoteke | matrika kompleksnih koeficientov STFT, ločenih s tabulatorji. Realni in imaginarni del kompleksnega števila sta ločena s tabulatorjem. |

Tabela 5.4: Struktura datoteke z rezultati STFT

Rezultate vizualizacije lahko shranimo v tekstovno datoteko formata UTF-8. Podatki so shranjeni v vrsticah, polja v vrstici so ločena s tabulatorji. Struktura shranjene datoteke je opisana v tabeli 5.5.

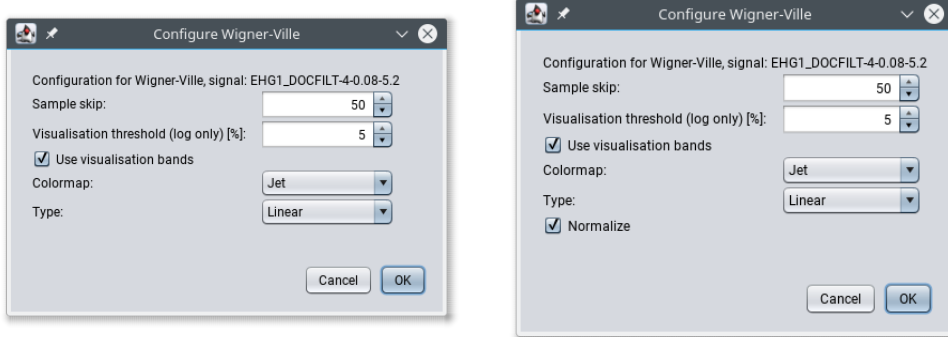
Izračun Wigner–Ville–jeve distribucije je implementiran v razredu WignerVille paketa `dsp.transforms`.

5.4.8 Skalogram DWT in CWT

V grafičnem orodju VisuAA smo za izračun DWT smo uporabili Mallatov piramidni algoritem [27], ki izračuna DWT na diadični skali, t.j. $s_j = 2^j$. Primer skalograma DWT je na sliki 5.23. Za implementacijo DWT smo uporabili odprtokodno knjižnico JWave.

V JWave knjižnici so na voljo naslednje družine valčkov:

- Haar
- Coiflet
- Daubechies



(a) Nastavitve 2D Wigner-Ville-
jevega spektrograma

(b) Nastavitve 3D Wigner-Ville-
jevega spektrograma

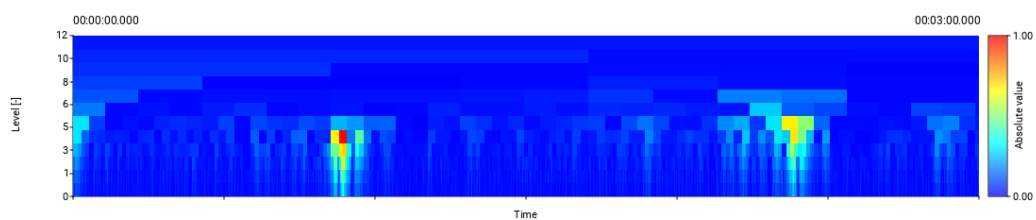
Slika 5.22: Okno z nastavitvami Wigner-Ville-jevega spektrograma

- Legendre
- Symlet
- Bi-ortogonalni
- CDF97
- diskretni Mayer

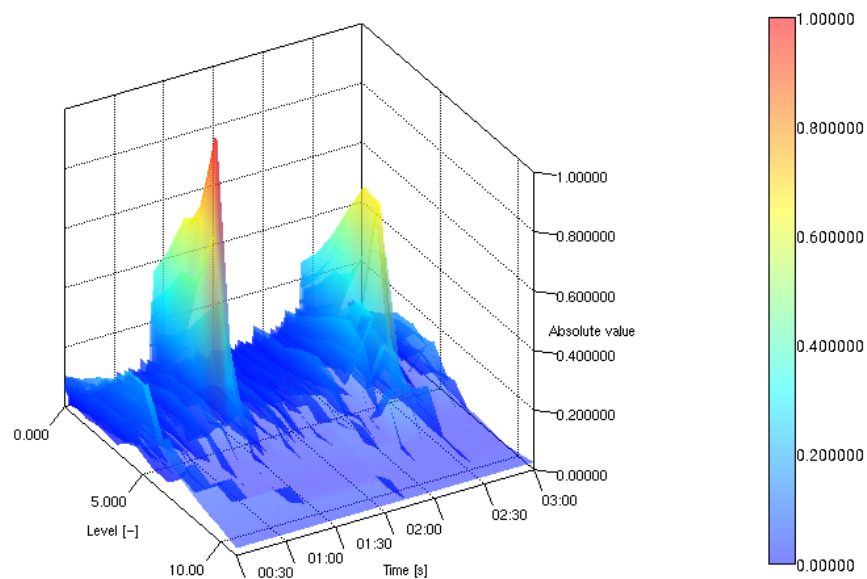
Izračun CWT smo implementirali z uporabo FFT, po postopku opisanem v [28]. Primer skalograma CWT je na sliki 5.24. Psevdokoda algoritma je predstavljena na sliki 5.25.

Valčki so v izbranem algoritmu definirani z:

- $\hat{\psi}(s\omega)$: formula za izračun valčka v Fourierovi domeni, s je skala, ω je krožna frekvenca.
- S : število skal, formula za izračun je $S = \left\lceil \frac{\log_2((N \cdot d_t)/s_0)}{d_s} \right\rceil$, kjer $d_t = 1/f_s$.
- d_s : razmik med sosednjima skalama, privzeta vrednost je $d_s = 0,4875$.
- s_0 : prva skala, privzeta vrednost je $s_0 = 2d_t$, kjer $d_t = 1/f_s$.

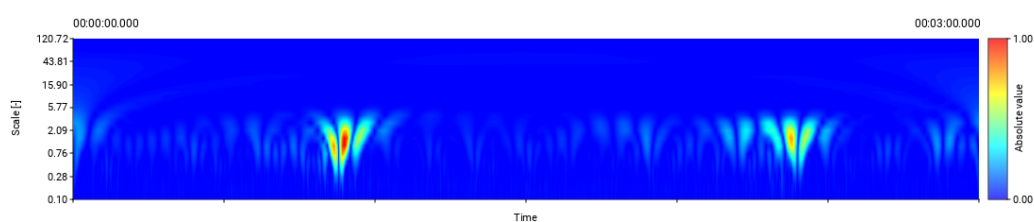


(a) 2D skalogram DWT

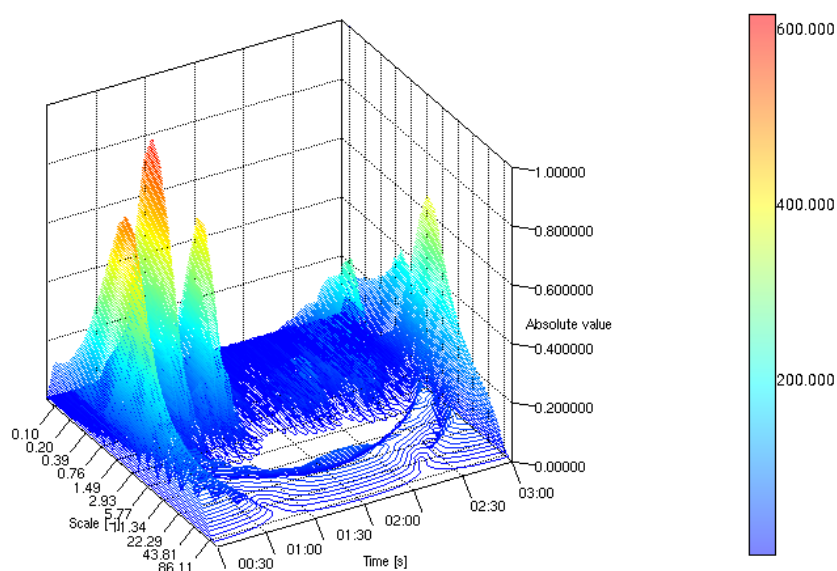


(b) 3D skalogram DWT

Slika 5.23: Skalogram DWT signala. Prikazan je skalogram DWT signala EHG1 posnetka emv181087 na intervalu od 00:00 min do 03:00 min. Uporabljen je Haarov valček.



(a) 2D skalogram CWT



(b) 3D skalogram CWT

Slika 5.24: Skalogram CWT signala. Prikazan je skalogram CWT signala EHGl posnetka emv181087 na intervalu od 00:00 min do 03:00 min. Uporabljen je Mexican hat valček.

Konstante:

| | |
|---------|----------------------------------|
| f_s : | frekvenca vzorčenja [Hz] |
| N : | število vzorcev v signalu $x(n)$ |
| S : | število skal |

Vhod:

| | |
|--------------------------------|---|
| $x(n)$: | signal |
| $s(n)$: | skale, za katere se izračuna CWT |
| $\hat{\psi}(\omega, s, d_t)$: | koeficienti DFT valčka za krožne frekvence ω , skalo s in interval vzorčenja d_t |

Izhod:

$CWT(\tau, s)$: koeficienti CWT pri skali s za translacijo τ

procedure `cwt_fft`($CWT(\tau, s)$);

$d_t = 1/f_s$;

for $i = 0$ **to** $N/2$ **do**

$\omega(i) = (2 * \pi * i) / (N * d_t)$;

enddo

for $i = N/2$ **to** $N - 1$ **do**

$\omega(i) = -\omega(N - i)$;

enddo

$x = x - \text{mean}(x)$;

$X = \text{fft}(x)$;

for $i = 1$ **to** S **do**

$CWT(s, \cdot) = \text{ifft} \left((1/N) * \sqrt{(2 * \pi * s(i))/d_t} * X * \hat{\psi}(\omega, s(i), d_t) \right)$;

enddo

end_procedure

Slika 5.25: Psevdokoda algoritma za izračun CWT s FFT. Funkcija $\text{mean}(x(n))$ vrne srednjo vrednost signala $x(n)$, $\text{fft}(x(n))$ vrne DFT signala $x(t)$, $\text{ifft}(X(n))$ pa vrne inverzno DFT signala $X(n)$.

| Vrstica | Pomen |
|-----------------------|--|
| 1 | pot do zaglavne datoteke signala |
| 2 | naziv posnetka |
| 3 | opis posnetka |
| 4 | indeks signala v posnetku |
| 5 | indeks prvega in zadnjega vzorca v vizualizaciji |
| 6 | število vzorcev, ki se jih v izračunu preskoči |
| 7 - do konca datoteke | matrika kompleksnih koeficientov Wigner–Ville–jeve distribucije, ločenih s tabulatorji. Realni in imaginarni del kompleksnega števila sta ločena s tabulatorjem |

Tabela 5.5: Struktura datoteke z rezultati Wigner–Ville–jeve distribucije

- $s(i)$: i -ta skala, formula za izračun je $s(i) = s_0^{2^{i \cdot d_s}}$
- $f_p(s)$: psevdo frekvenca, ki ustreza skali s .

Izbrali smo naslednje družine zveznih valčkov:

- n -ti odvod Gaussove funkcije (DOG), n je sodo število. Drugi odvod Gaussa je dobro znani Mexican hat valček.
- Morletov (analitični) valček.
- Morletov (neanalitični) valček.
- Morletov (neanalitični, srednja vrednost enaka nič) valček.

Vrednosti skalograma S_x^ψ lahko vizualiziramo na več načinov:

- kot globalen delež, ki ga določimo kot:

$$z(\tau, s) = \frac{S_x^\psi(\tau, s) - \min_{\forall v} \min_{\forall t} S_x^\psi(v, t)}{\max_{\forall v} \max_{\forall t} S_x^\psi(v, t) - \min_{\forall v} \min_{\forall t} S_x^\psi(v, t)} \quad (5.10)$$

- kot delež za vsako skalo, ki ga določimo kot:

$$z(\tau, s) = \frac{S_x^\psi(\tau, s) - \min_{\forall v} S_x^\psi(v, s)}{\max_{\forall v} S_x^\psi(v, s) - \min_{\forall v} S_x^\psi(v, s)} \quad (5.11)$$

- z izohipsami. Izrišemo jih lahko na več načinov:

- žični reliefni graf.
- reliefni graf.
- reliefni graf z obrobljenimi reliefi.

Vizualizacija z izohipsami je na voljo le pri skalogramu CWT.

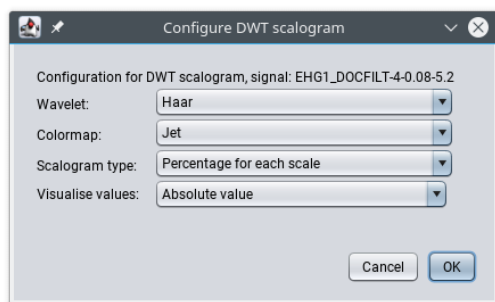
Za določitev izohips smo uporabili Marching squares algoritem [29]. Odločili smo se za lastno implementacijo algoritma, ker imajo prosto dostopne implementacije nekompatibilne licence in v določenih primerih nepravilne rezultate. Edina razlika med splošnim Marching squares algoritmom in našo implementacijo je, da splošen algoritem ne zagotavlja, da bodo vse izohipse sklenjene. To smo rešili tako, da pred uporabo Marching squares algoritma vhodno dvodimenzionalno polje Z_f velikosti $N \times M$ obkrožimo z ničlami oziroma vrednostmi, ki so manjše od $\min_{\forall n, m} Z_f(n, m)$. Dobimo polje velikosti $(N + 2) \times (M + 2)$ in tako zagotovimo, da bodo sklenjene tudi izohipse, ki se začnejo ali končajo na robovih polja Z_f . Pri implementaciji, ki se nahaja v paketu `wfdb.visualisation.marchingsquares`, smo uporabili principe večnitnega programiranja za hitrejšo izvajanje.

Parametre vizualizacije lahko spreminjamo v oknu za konfiguracijo vizualizacije. Na sliki 5.26 je prikazano okno za konfiguracijo skalograma DWT, na sliki 5.27 pa okno za konfiguracijo skalograma CWT. Parametri skalograma DWT, ki jih lahko spreminjamo, so:

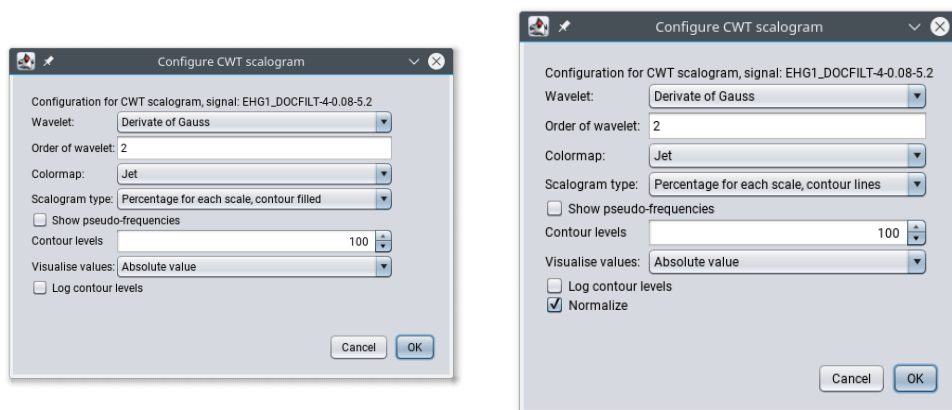
Wavelet valček.

Colormap uporabljena barvna preslikava.

Scalogram type način vizualizacije vrednosti.



Slika 5.26: Okno z nastavitvami skalograma DWT



(a) Nastavitve 2D skalograma CWT

(b) Nastavitve 3D skalograma CWT

Slika 5.27: Okno z nastavitvami skalograma CWT

Visualise values vrednost, ki jo želimo vizualizirati.

Parametri skalograma CWT, ki jih lahko spreminjamo, so:

Wavelet valček.

Order of wavelet ali ω_0 red DOG ali ω_0 .

Colormap uporabljena barvna preslikava.

Scalogram type način vizualizacije vrednosti.

Show pseudo frequencies vklop prikaza psevdo frekvenc na y osi skalograma. Če nastavitev ni izbrana, se na y osi prikaže skale.

Contour levels število nivojev, za katere se izračuna izohipse.

Visualise values vrednost, ki jo želimo vizualizirati.

Log contour levels logaritmična porazdelitev nivojev izohips. Če nastavitvev ni izbrana, so nivoji porazdeljeni linearno.

Normalize uporaba normalizacije (samo za 3D skalogram CWT).

Rezultate DWT in CWT lahko shranimo v tekstovno datoteko formata UTF-8. Podatki so shranjeni v vrsticah, polja v vrstici so ločena s tabulatorji. Strukturi datotek sta predstavljeni v tabeli 5.6 za skalogram DWT in tabeli 5.7 za skalogram CWT.

5.5 Oznake

Oznake posnetkov lahko pregledujemo, dodajamo, urejamo in brišemo. Za delo z oznakami z miško premaknemo marker na mesto, kjer želimo izvršiti akcijo in izberemo akcijo.

Akcije, ki jih lahko izberemo, so:

Exm pregledovanje oznake pod markerjem ali njemu najbližje oznake. V statusni vrstici se prikažejo naslednje informacije o oznaki:

| Vrstica | Pomen |
|-----------------------|--|
| 1 | pot do zaglavne datoteke signala |
| 2 | naziv posnetka |
| 3 | opis posnetka |
| 4 | indeks signala v posnetku |
| 5 | indeks prvega in zadnjega vzorca v vizualizaciji |
| 6 | uporabljen valček |
| 7 - do konca datoteke | matrika kompleksnih koeficientov DWT, ločenih s tabulatorji. Realni in imaginarni del kompleksnega števila sta ločena s tabulatorjem. Vsaka vrstica predstavlja eno skalo. |

Tabela 5.6: Struktura datoteke z rezultati skalograma DWT

- indeks vzorca, na katerem je oznaka postavljena.
- avtor oznake.
- tip oznake.

Edit urejanje oznake. Ureja se oznako pod markerjem ali njemu najbližjo oznako. Z urejanjem se spremeni oznako na novo oznako, ki jo izberemo iz menuja, ki se prikaže ob izbiri akcije.

Del brisanje oznake pod markerjem ali njemu najbližje oznake.

Sel izbira lokalnega intervala, v katerem se nahaja marker. Če se marker ne nahaja v lokalnem intervalu, se počisti trenutno izbrani lokalni interval.

Oznaka dodajanje oznake. Oznako se doda na trenutno mesto markerja.

Edit annotator spreminjanje avtorja oznake. Novega avtorja oznake vpišemo ali izberemo v pomožnem oknu (slika 5.28).

| Vrstica | Pomen |
|-----------------------|--|
| 1 | pot do zaglavne datoteke signala |
| 2 | naziv posnetka |
| 3 | opis posnetka |
| 4 | indeks signala v posnetku |
| 5 | indeks prvega in zadnjega vzorca v vizualizaciji |
| 6 | uporabljen valček in izbrani parametri valčka |
| 7 | število skal |
| 8 | skale, ločene s tabulatorji |
| 9 - do konca datoteke | matrika kompleksnih koeficientov CWT, ločenih s tabulatorji. Realni in imaginarni del kompleksnega števila sta ločena s tabulatorjem. Vsaka vrstica predstavlja eno skalo. |

Tabela 5.7: Struktura datoteke z rezultati skalograma CWT

Najbližjo oznako se poišče v intervalu w_a točk desno ali levo od trenutnega mesta markerja.

Oznake so razdeljene na klinične, ki jih uporabljajo porodničarji in na uporabniško definirane oznake.

Klinične oznake so razdeljene na več skupin:

Popadki za označevanje popadkov. Oznake so:

CT Contraction – popadek.

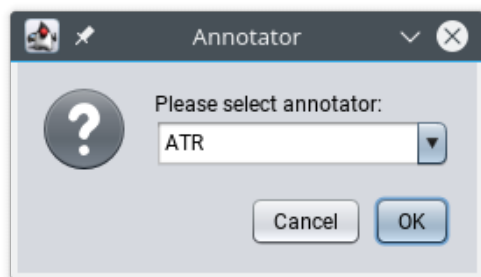
BC Begin Contraction – začetek popadka.

EC End Contraction – konec popadka.

Premikanje za označevanje premika mame. Oznake so:

MV Movement – premik.

BM Begin Movement – začetek premika.



Slika 5.28: Okno za izbiro avtorja oznake

EM End Movement – konec premika.

Otrok dejansko z oznakami tipa otrok porodničarji označujejo akcije mame.

Oznake so:

BY Baby – otrok.

BYs Baby Smile – smeh.

BYc Baby Cough – kašelj.

BYt Baby Talk – govor.

BB Begin Baby – začetek akcije tipa otrok.

EB End Baby – konec akcije tipa otrok.

Električna aktivnost maternice za označevanje aktivnosti maternice, ki niso posledica popadkov. Oznake so:

EA Electrical Activity – električna aktivnost maternice.

BE Begin Electrical Activity – začetek električne aktivnosti maternice.

EE End Electrical Activity – konec električne aktivnosti maternice.

Šum za označevanje aktivnosti, katerih vzrok ni znan. Oznake so:

NO Noise – šum.

BN Begin Noise – začetek šuma.

EN End Noise – konec šuma.

Poleg kliničnih oznak sta definirani še oznaki za označevanje lokalnega intervala:

BL Begin Local Interval - začetek lokalnega intervala.

EL End Local Interval - konec lokalnega intervala.

Lokalni interval se uporablja za shranjevanje segmenta posnetka in za vizualizacijo signala na izbranem intervalu.

Oznake se vizualizirajo z navpično črto, na vrhu katere je zapisana oznaka. Postavljene oznake lahko definirajo zaključen interval, ki se začne z oznako tipa Begin in konča z oznako tipa End. Zaključeni intervali so lahko v vizualizacijah osenčeni z barvo tipa oznake.

Oznake se shranijo v formatu WFDB z uporabo programa *wrann*, kot je opisano v poglavju 5.3.2. Oznake se shranijo s kodo “=”, ki je definirana kot oznaka meritve [30].

Poglavje 6

Uporaba grafičnega orodja VisuAA

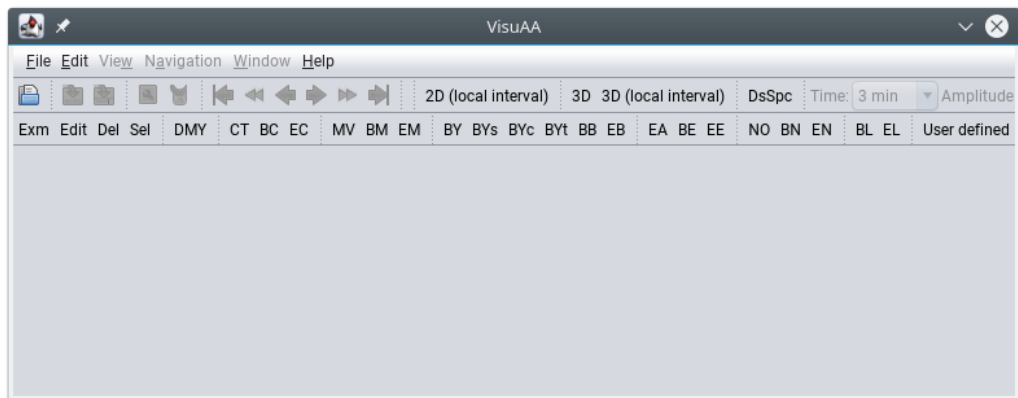
Uporabo grafičnega orodja VisuAA bomo prikazali na primerih.

6.1 Odpiranje posnetka in osnovno delo

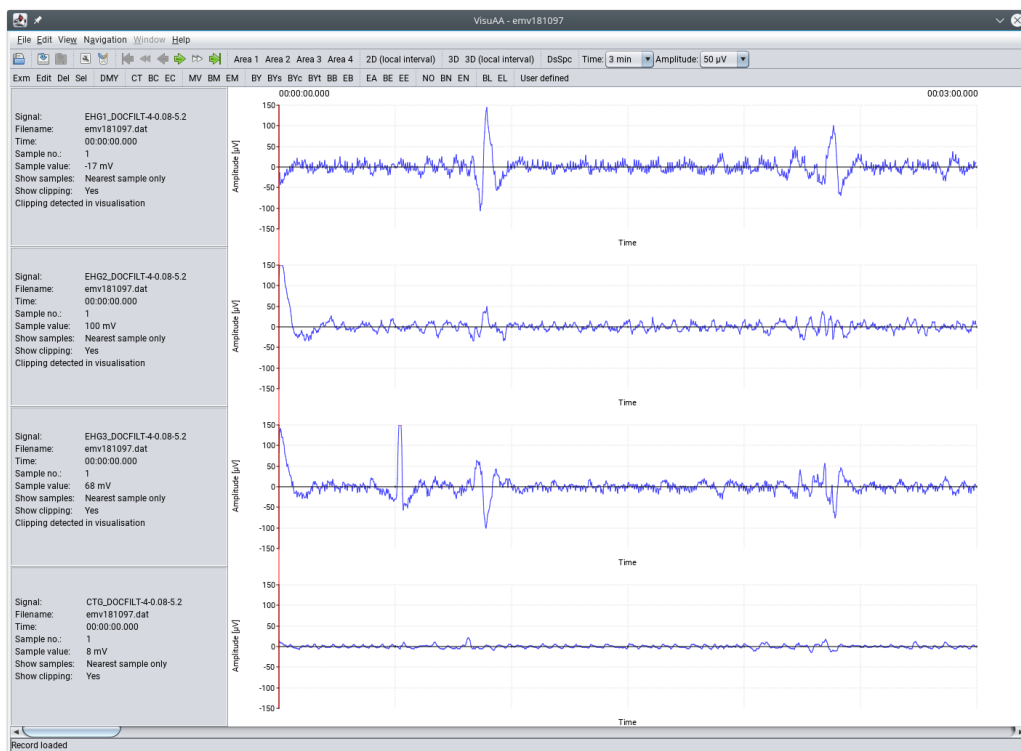
Ob zagonu VisuAA se odpre glavno okno, prikazano na sliki 6.1a. Po zagonu ni odprtega nobenega posnetka. Posnetek odpremo z izbiro akcije Open file. Ko je posnetek odprt, se v delovni površini glavnega okna prikaže največ prvih N_v signalov posnetka (slika 6.1b). Če je v posnetku signalov manj kot N_v se prikažejo vsi signali, ostala področja za vizualizacijo pa ostanejo prazna.

V ločenem oknu lahko pregledujemo in urejamo informacije o posnetku in signalih ter zaglavno datoteko posnetka. Okno odpremo z uporabo akcije Record information. Pregledovanje in urejanje informacij ter zaglavne datoteke je podrobno opisano v poglavju 5.2.5.

Urejamo lahko tudi zapiske o posnetku, ki niso del formata WFDB, ampak so shranjeni v ločeni tekstovni datoteki formata UTF-8. Pregledujemo in urejamo jih v ločenem oknu, ki ga odpremo z izbiro akcije Notes. Delo z zapiski je podrobno opisano v poglavju 5.2.6.



(a) Brez odprtega posnetka



(b) Z odprtim posnetkom

Slika 6.1: Glavno okno programa

6.2 Izbira vizualizacije

Za vsako vizualizacijsko področje lahko izberemo želen tip vizualizacije v podmeniju Area i menuja View, $1 \leq i \leq N_v$. Vizualizacije, ki so na voljo, so:

- signal.
- spekter signala.
- spektrogram signala.
- Wigner–Ville–jev spektrogram signala.
- skalogram DWT.
- skalogram CWT.

Vizualizacije so opisane v poglavju 5.4.

Vizualizacije, razen signala in spektra, lahko prikažemo tudi v 3D obliki preko izbire akcije v podmeniju 3D menuja View.

Dolžino intervala za vizualizacijo L_v izberemo v podmeniju Time menuja View. Izbrana dolžina intervala se uporabi tudi za korak navigacije.

Vizualizacijo lahko shranimo v bitno sliko formata PNG. Shranimo lahko tudi rezultate izbrane metode vizualizacije v tekstovno datoteko formata UTF-8. Struktura tekstovne datoteke je podrobno opisana v poglavjih z 5.4.5–5.4.8.

6.3 Navigacija po posnetku

Po posnetku se lahko premikamo z:

- izbiro akcij v menuju Navigation.
- izbiro akcij v orodni vrstici.
- uporabo drsnika v delovnem področju programa.

- z uporabo bližnjic na tipkovnici.

Premikamo se v polovičnih ali celih korakih, katerih dolžina je določena z izbiro dolžine intervala za vizualizacijo L_v v podmeniju Time menuja View. Ob premikanju po posnetku se ustrezno posodobijo tudi odprte 3D vizualizacije.

Navigacija je opisana v poglavju 5.2.4.

6.4 Označevanje posnetka

Oznake posnetka lahko dodajamo, brišemo, urejamo in pregledujemo. Za delo z oznakami najprej z miško premaknemo marker na želeno pozicijo, nato pa iz podmenuja Annotations menuja View izberemo ustrezno akcijo.

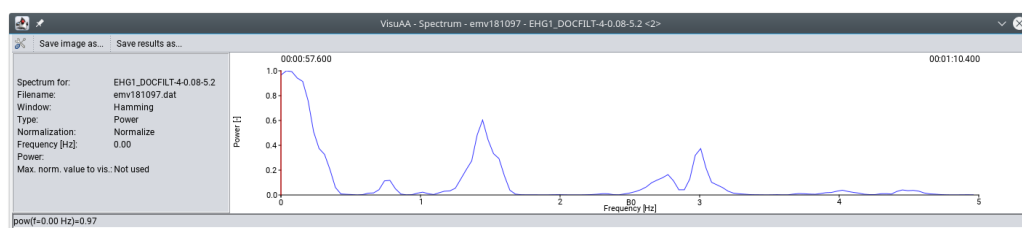
Oznake so predstavljene z navpičnimi črtami, na vrhu katere je zapisana oznaka.

Oznake, ki so na voljo, so razdeljene na klinične in uporabniško definirane oznake, ki jih lahko definiramo v nastavitvah programa (poglavje 5.2.7).

Označevanje je opisano v poglavju 5.5.

6.5 Vizualizacija lokalnega intervala signala

Vizualiziramo lahko tudi odsek signala, katerega dolžina se razlikuje od L_v . Vizualiziramo ga tako, da z oznakama BL in EL določimo lokalni interval, ki ga lahko z uporabo akcije Sel izberemo. Izbrani lokalni interval vizualiziramo z izbiro akcije iz podmenuja 2D (local interval) oz. 3D (local interval) menuja View. Primer vizualizacije spektra signala na izbranem lokalnem intervalu je na sliki 6.2.



Slika 6.2: Vizualizacija spektra signala EHG1 posnetka emv181097 od 00:57,600 min do 01:10,400 min.

Poglavje 7

Analiza posnetka prezgodnjega in terminskega poroda

Z analizo posnetkov prezgodnjega in terminskega poroda smo poizkusili ugotoviti, kakšne razlike se pojavijo med vizualizacijami signalov posnetkov in katere izmed izbranih vizualizacij so primerne za karakterizacijo posnetka. Izbrali smo posnetka:

- posnetek terminskega poroda emv181097.
- posnetek prezgodnjega poroda evz100199.

7.1 Analiza celotnega posnetka

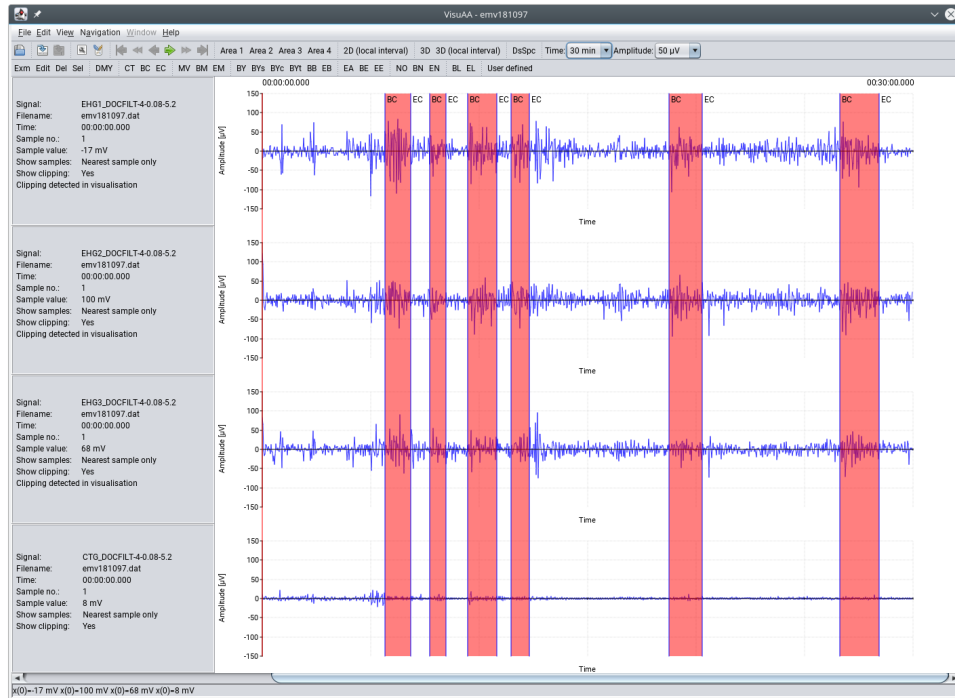
Na sliki 7.1 so prikazani signali izbranih posnetkov. Opazimo lahko, da so signali v terminskem porodu bolj nepredvidljivi.

Posnetka smo vizualizirali tudi s:

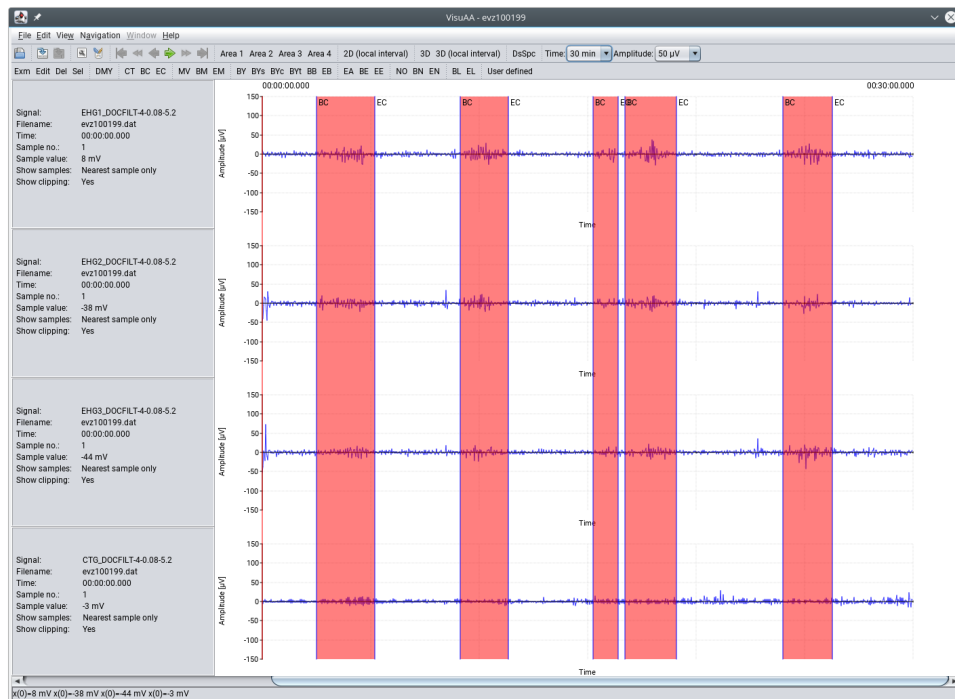
- spektrogramom, Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$ (slika 7.2).
- skalogram CWT, Mexican hat valček (slika 7.3).
- skalogram CWT, Morletov (analitični) valček (slika 7.4).

POGLAVJE 7. ANALIZA POSNETKA PREZGODNJEGA IN TERMINSKEGA PORODA

86

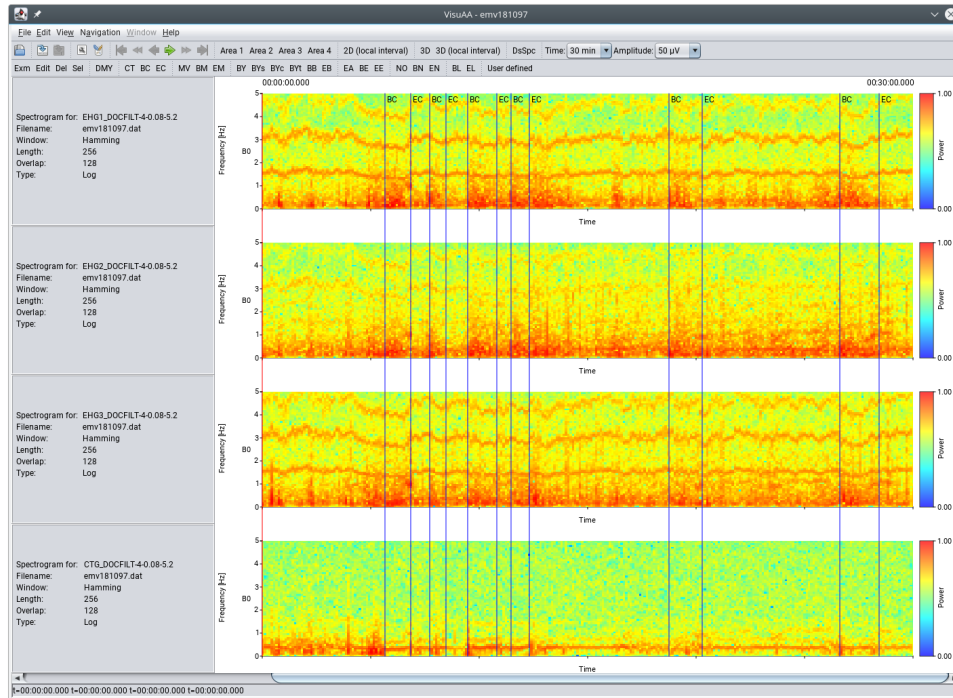


(a) Posnetek emv181097

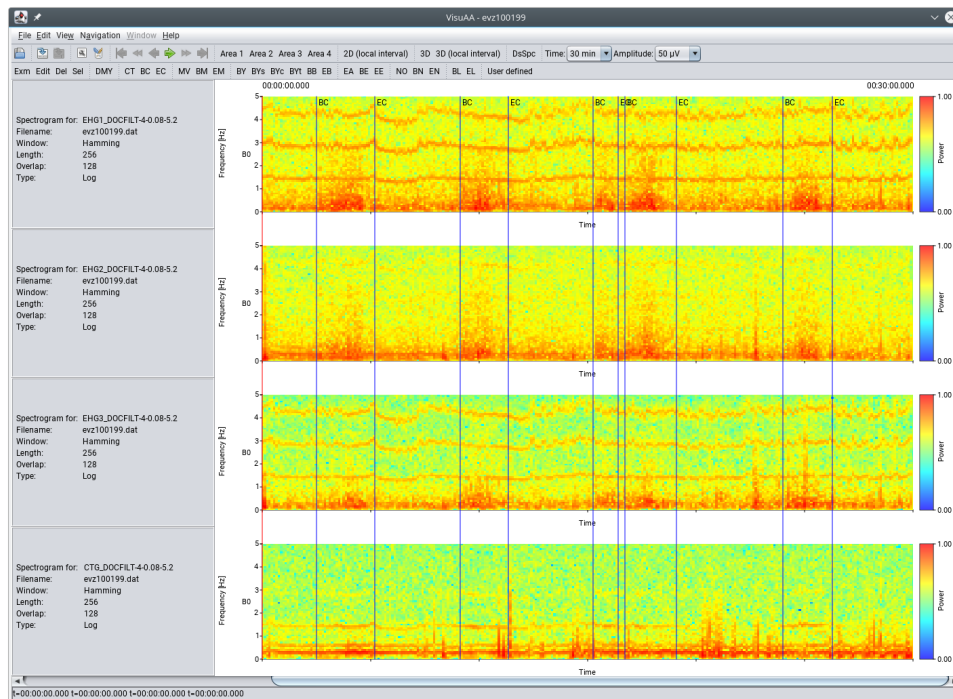


(b) Posnetek evz100199

Slika 7.1: Signali izbranih posnetkov za čas od 00:00 min do 30:00 min.



(a) Posnetek emv181097

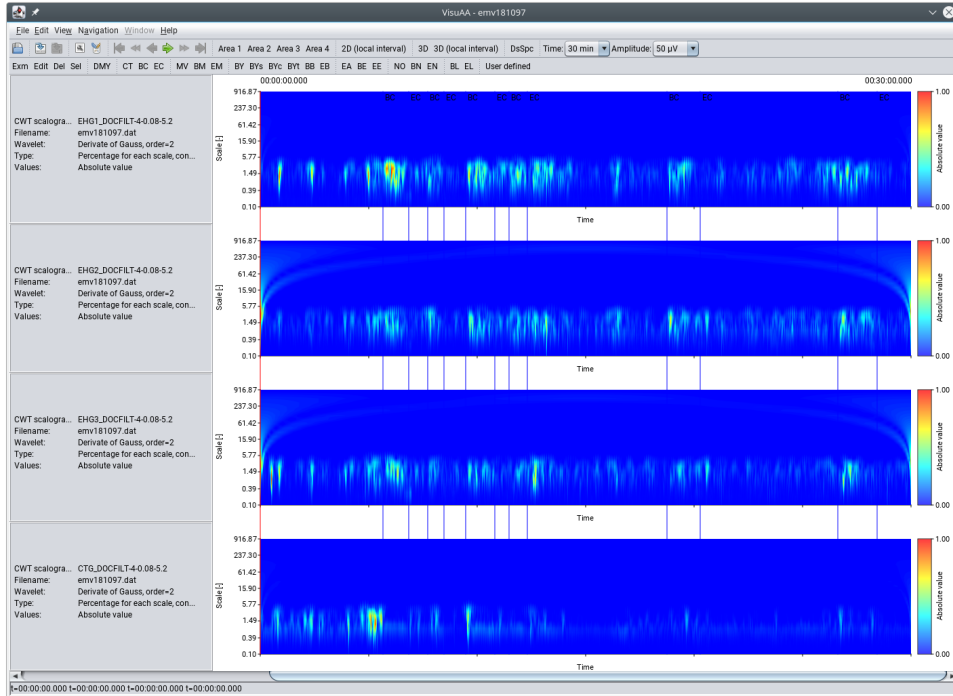


(b) Posnetek evz100199

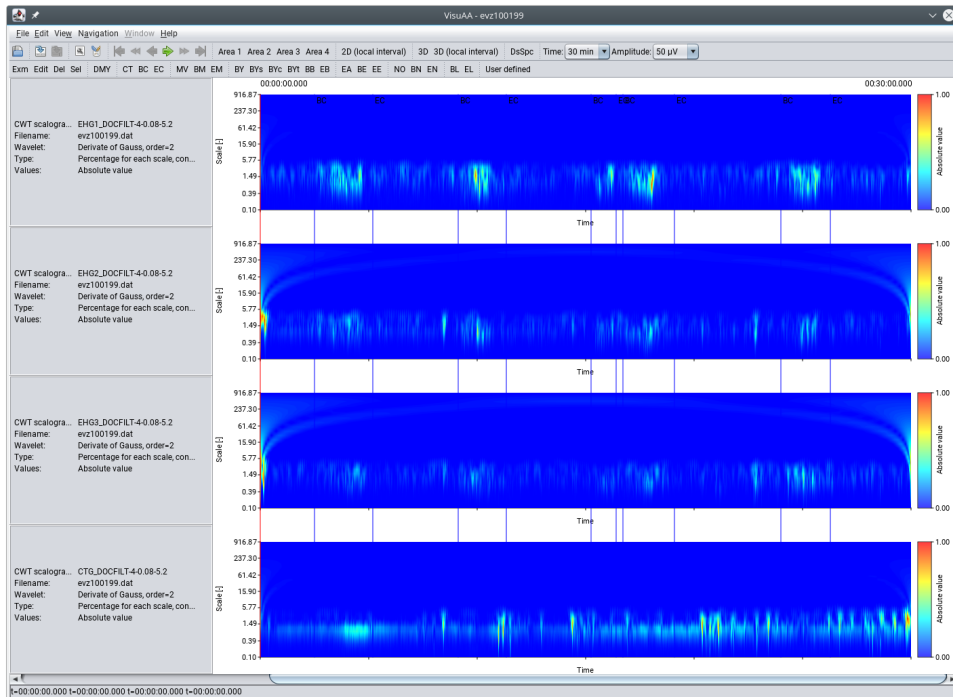
Slika 7.2: Spektrogrami vseh signalov izbranih posnetkov, Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$, za čas od 00:00 min do 30:00 min.

POGLAVJE 7. ANALIZA POSNETKA PREZGODNJEGA IN TERMINSKEGA PORODA

88

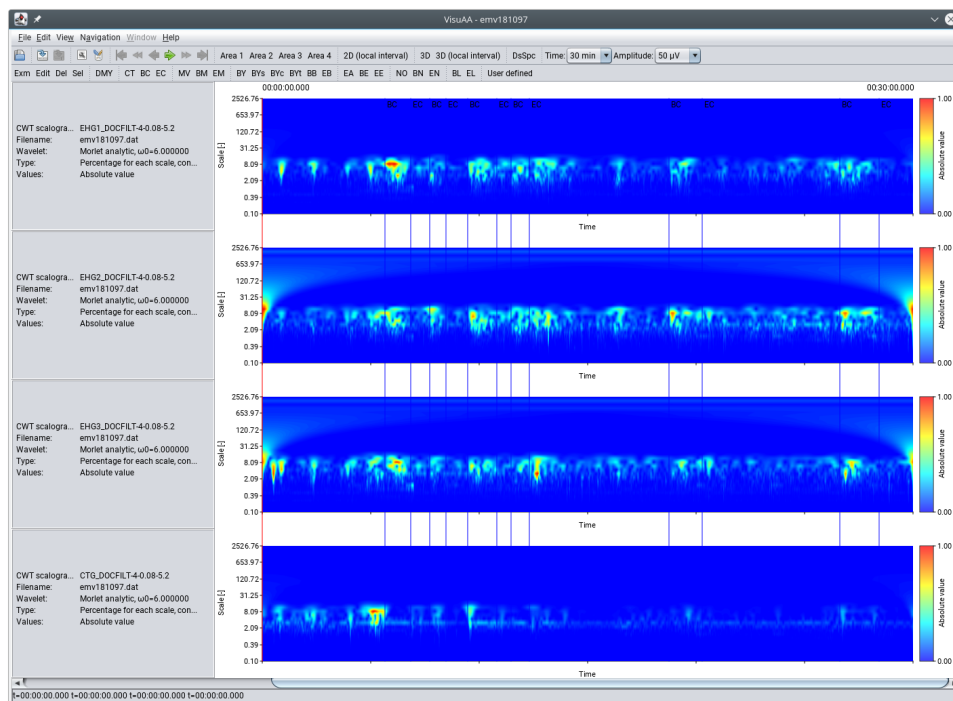


(a) Posnetek emv181097

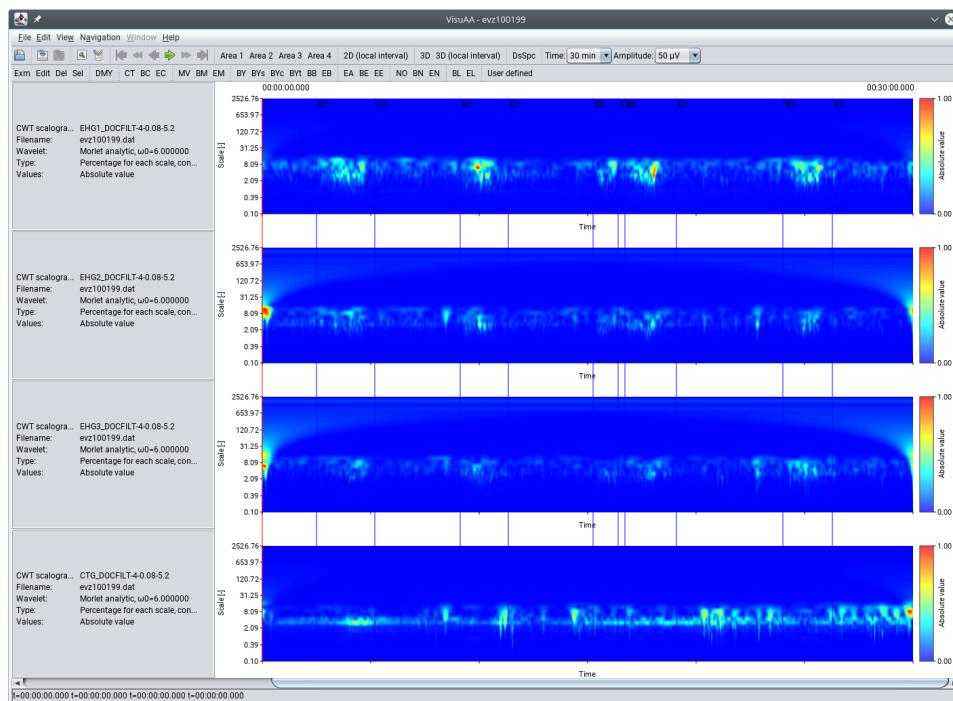


(b) Posnetek evz100199

Slika 7.3: Skalogrami CWT vseh signalov izbranih posnetkov, valček Mexican hat, za čas od 00:00 min do 30:00 min.



(a) Posnetek emv181097

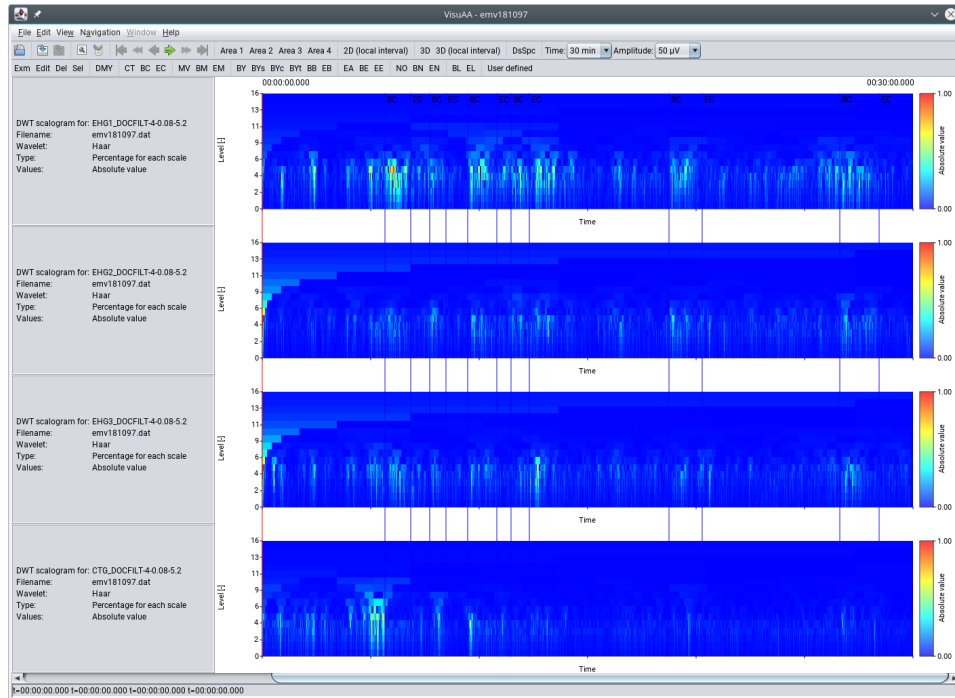


(b) Posnetek evz100199

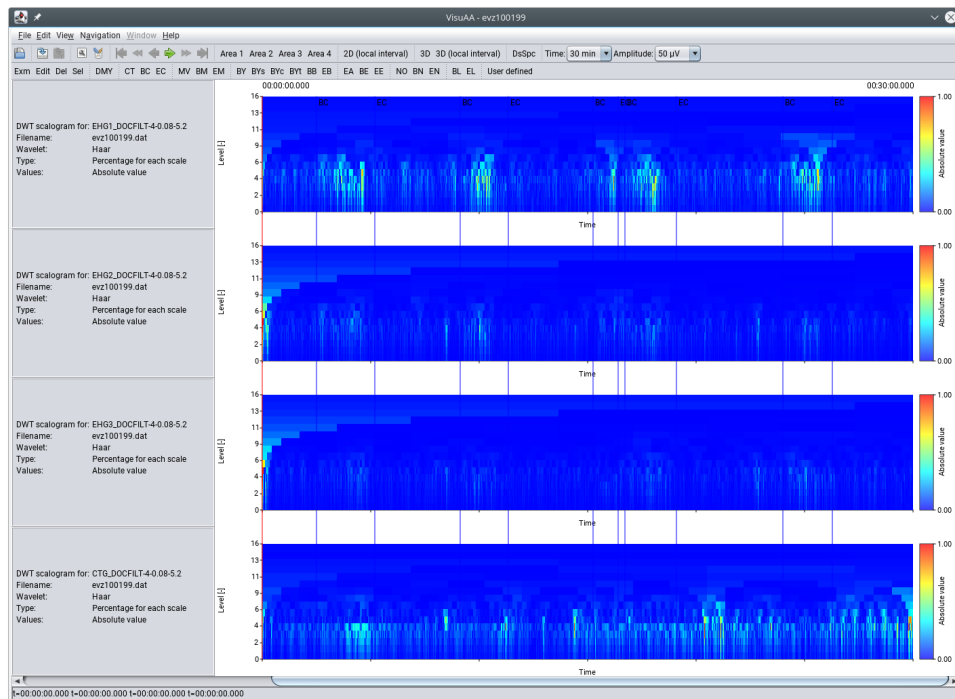
Slika 7.4: Skalogrami CWT vseh signalov izbranih posnetkov, valček Morlet (analitični), za čas od 00:00 min do 30:00 min.

POGLAVJE 7. ANALIZA POSNETKA PREZGODNJEGA IN TERMINSKEGA PORODA

90



(a) Posnetek emv181097



(b) Posnetek evz100199

Slika 7.5: Skalogrami DWT vseh signalov izbranih posnetkov, valček Haar, za čas od 00:00 min do 30:00 min.

- skalogram DWT, Haarov valček (slika 7.5).

Iz primerjave uporabljenih vizualizacij lahko ugotovimo, da so skalogrami dobri za odkrivanje sprememb v posnetkih EHG. S skalogrami celotnega posnetka lahko hitro ugotovimo, kateri posnetki so bolj nepredvidljivi (imajo več sprememb). Z uporabo skalogramov CWT lahko zaznamo, kdaj v posnetku pride do verjetnih popadkov – ob popadkih je namreč več sprememb aktivnosti, ki so v skalogramih vizualizirane kot večja svetlejša področja. Predvsem pri skalogramih CWT z Morletovim (analitičnim) valčkom se večina večjih sprememb v signalu ujema z označenimi popadki.

Skalogram CWT z Morletovim (analitičnim) valčkom ponazori razlike, ki smo jih opazili že pri vizualizaciji signalov. Predvsem lahko razliko opazimo na signalu EHG3, kar verjetno izhaja iz pozicije elektrod, ki zajemajo signal.

Tudi na podlagi spektrogramov vseh signalov obeh posnetkov lahko ugotovimo, da je v posnetku evz100199 manj izrazitih sprememb kot v emv181097. To je predvsem razvidno iz spektrograma signala EHG3 obeh posnetkov. V signalu EHG3 posnetka emv181097 je več sprememb, ki so tudi bolj izrazite, kot pa v istem signalu posnetka evz100199. Podobne ugotovitve lahko zasledimo tudi v literaturi [9].

V spektrogramih posnetkov emv181097 in evz100199 opazimo, da so aktivnosti tudi nad 1 Hz. Potrdimo lahko, da so nad 1 Hz res prisotne aktivnosti, oziroma višje harmonske komponente, kot jih tudi razlaga uradna strokovna literatura.

7.2 Analiza popadka

Poleg celotnega posnetka smo analizirali tudi posamezen popadek. Za analizo popadka smo izbrali zadnji popadek, ki se pojavi v posnetkih emv181097 in evz100199:

- v posnetku emv181097 se zadnji popadek začne ob 26:36,750 min in konča ob 28:25,600 min.

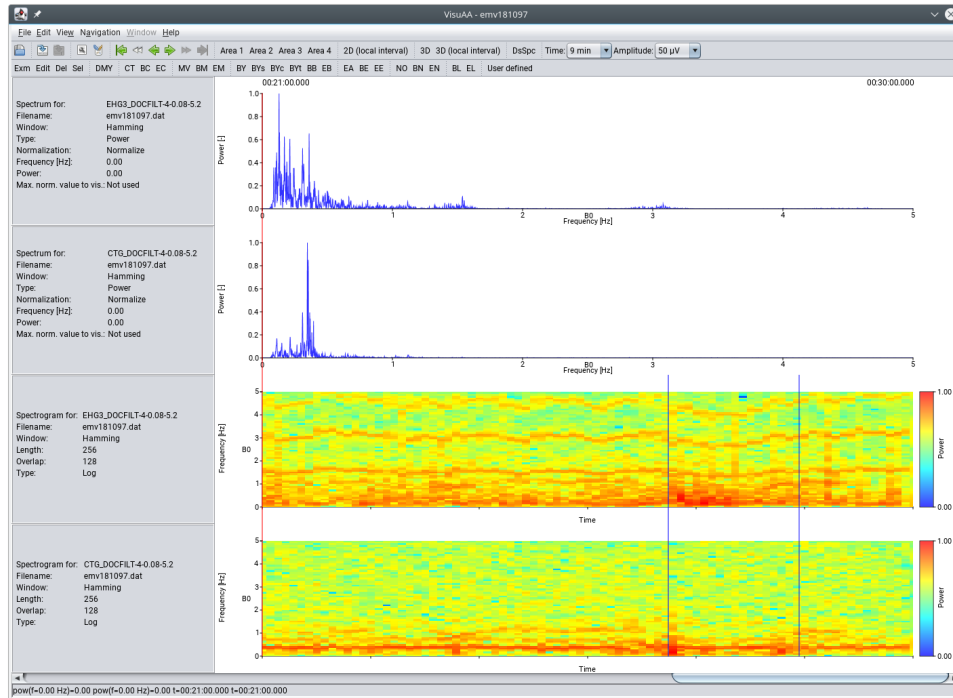
- v posnetku evz100199 se zadnji popadek začne ob 23:59,450 min in konča ob 26:16,600 min.

Osredotočili smo se na signala EHG3 in CTG. Signala smo izbrali zato, ker smo v poglavju 7.1 pokazali, da so razlike med prezgodnjim in terminskim porodom najbolj izrazite na izbranih signalih.

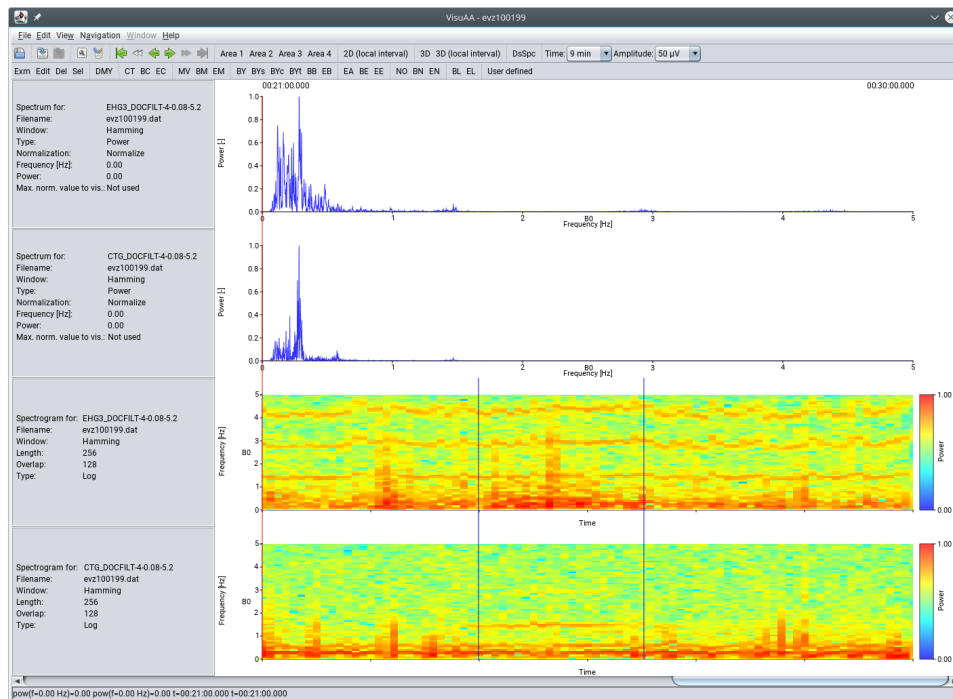
Popadek smo vizualizirali na več načinov:

- kot del zadnjih 9 minut posnetka z vizualizacijami:
 - močnostni spekter in spektrogram izbranih signalov, Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$ (slika 7.6).
 - skalogram CWT, Morletov (analitični) valček in Wigner–Ville–jev spektrogram izbranih signalov (slika 7.7).
 - 3D spektrogram signala EHG3, Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$ (slika 7.8).
- samostojno kot popadek z uporabo lokalnih intervalov z vizualizacijami:
 - vizualizacija vseh signalov (slika 7.9).
 - močnostni spekter in spektrogram izbranih signalov, Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$ (slika 7.10).
 - skalogram CWT, Morletov (analitični) valček in Wigner–Ville–jev spektrogram izbranih signalov (slika 7.11).
 - 3D spektrogram signala EHG3, Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$ (slika 7.12).

Ob primerjavi različnih vizualizacij popadka lahko ugotovimo, da so popadki pri terminskem porodu bolj izraziti – vrhovi v spektrogramu in močnostnem spektru so višji kot pri prezgodnjem porodu. Podobno se lahko zazna tudi na Wigner-Ville–jevemu spektrogramu, ki ima pri signalu EHG3 zadnjega popadka posnetka emv181097 več svetlih območij. Med skalogramoma pa ni večjih razlik. Iz obeh je razvidno, da prihaja do sprememb, katerih vzrok je sam popadek.

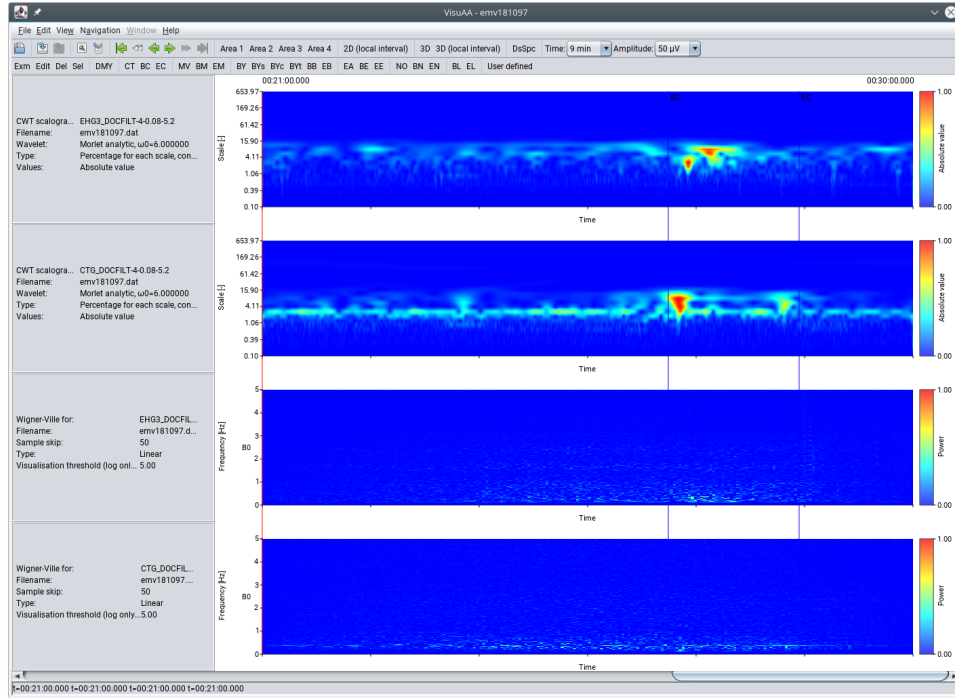


(a) Posnetek emv181097

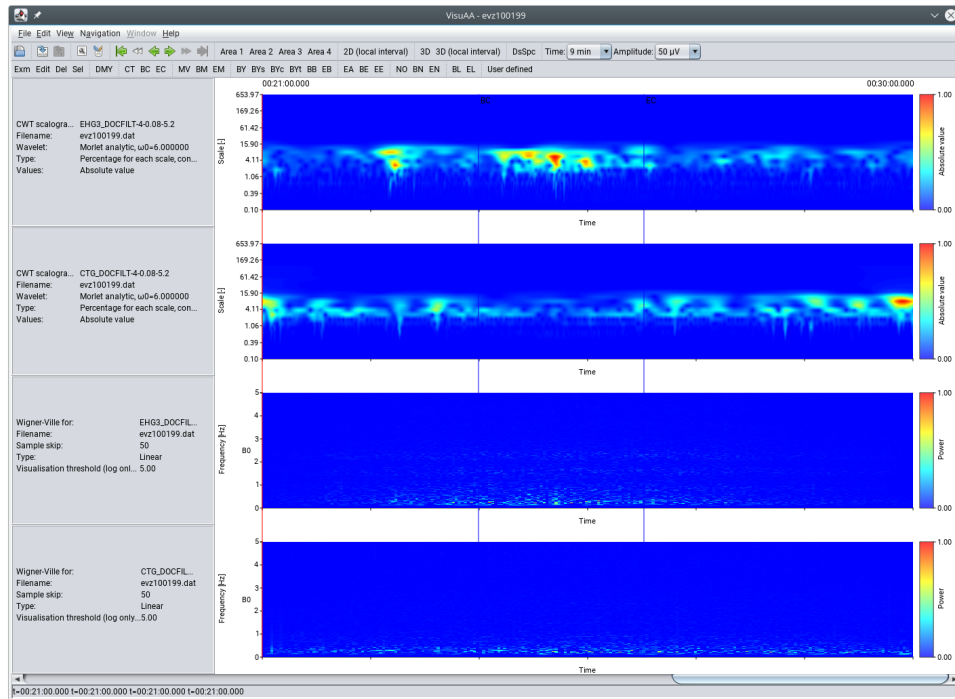


(b) Posnetek evz100199

Slika 7.6: Močnostni spekter in spektrogram (Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$) signalov EHG3 in CTG posnetkov emv181097 in evz100199 od 21:00 min do 30:00 min.

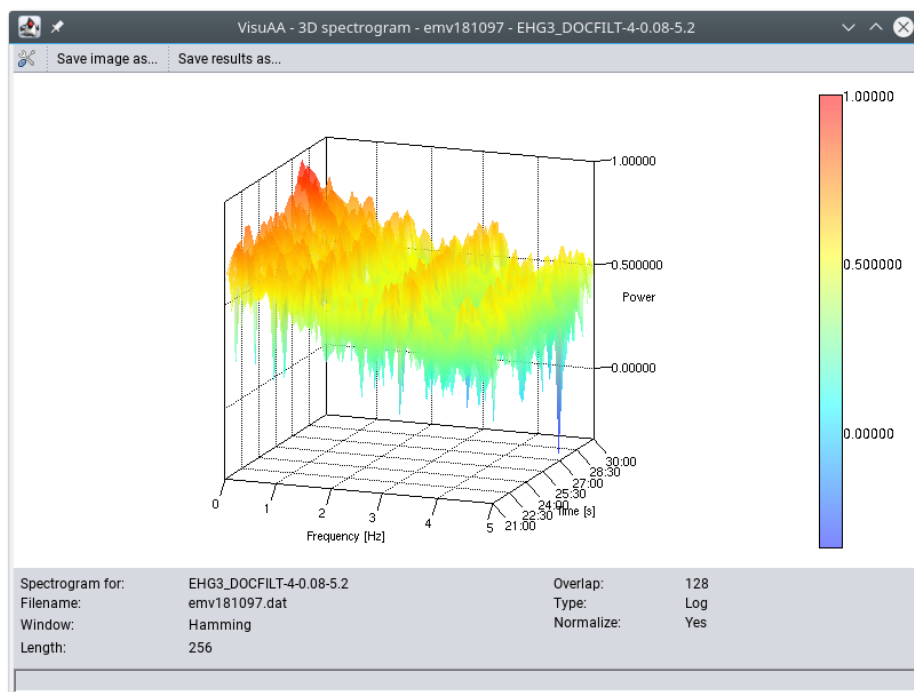


(a) Posnetek emv181097

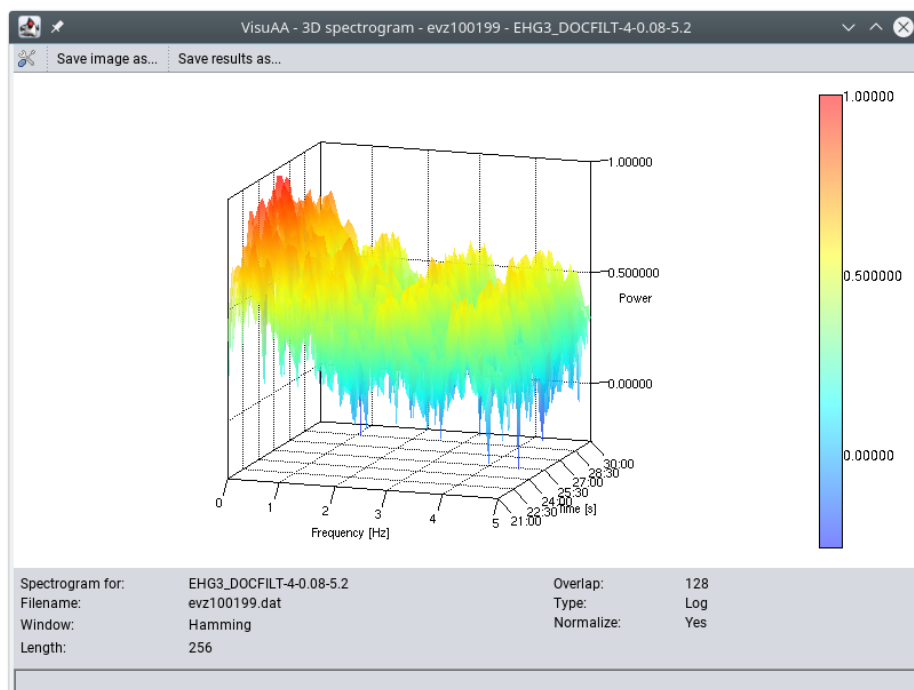


(b) Posnetek evz100199

Slika 7.7: Skalogram CWT, Morletov (analitični) valček in Wigner–Ville–jev spektrogram signalov EHG3 in CTG posnetkov emv181097 in evz100199 od 21:00 min do 30:00 min.



(a) Posnetek emv181097

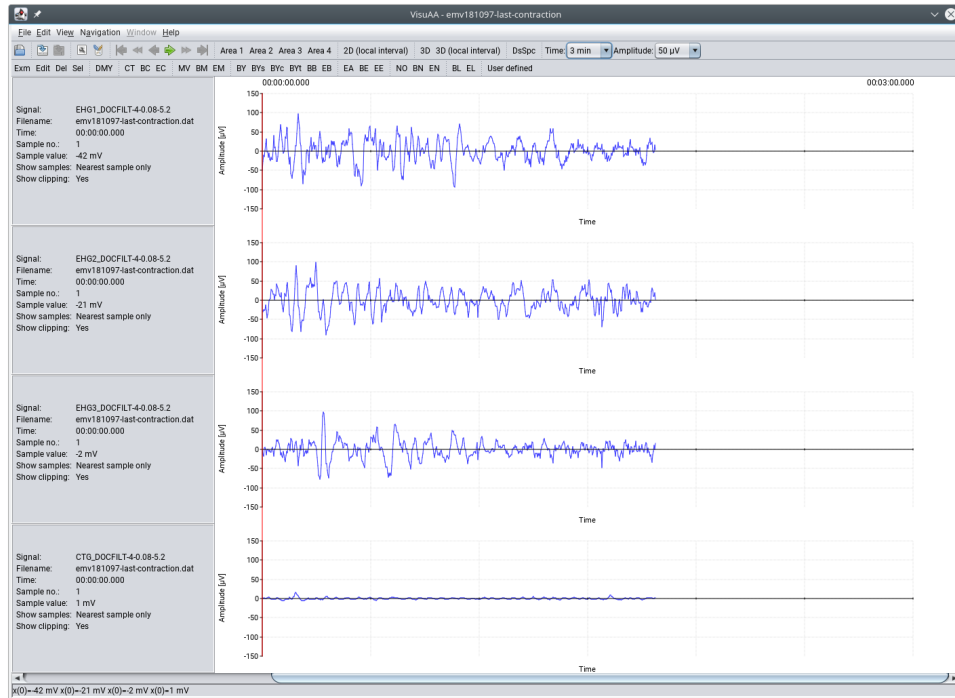


(b) Posnetek evz100199

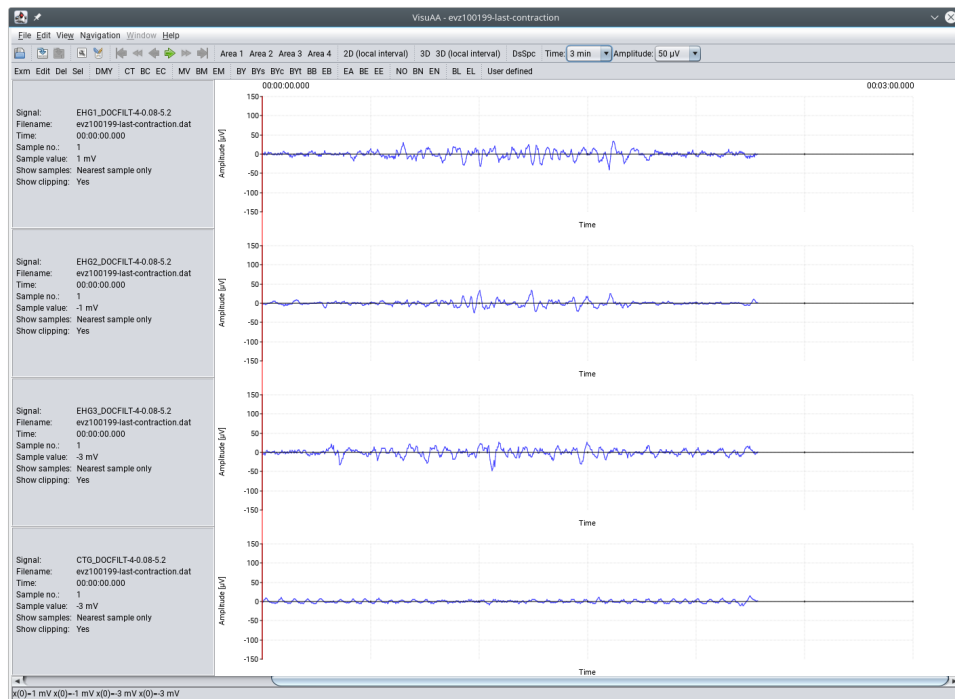
Slika 7.8: 3D spektrogram (Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$) signala EHG3 posnetkov emv181097 in evz100199 od 21:00 min do 30:00 min.

POGLAVJE 7. ANALIZA POSNETKA PREZGODNJEGA IN TERMINSKEGA PORODA

96

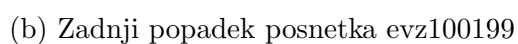


(a) Zadnji popadek posnetka emv181097

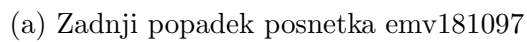


(b) Zadnji popadek posnetka evz100199

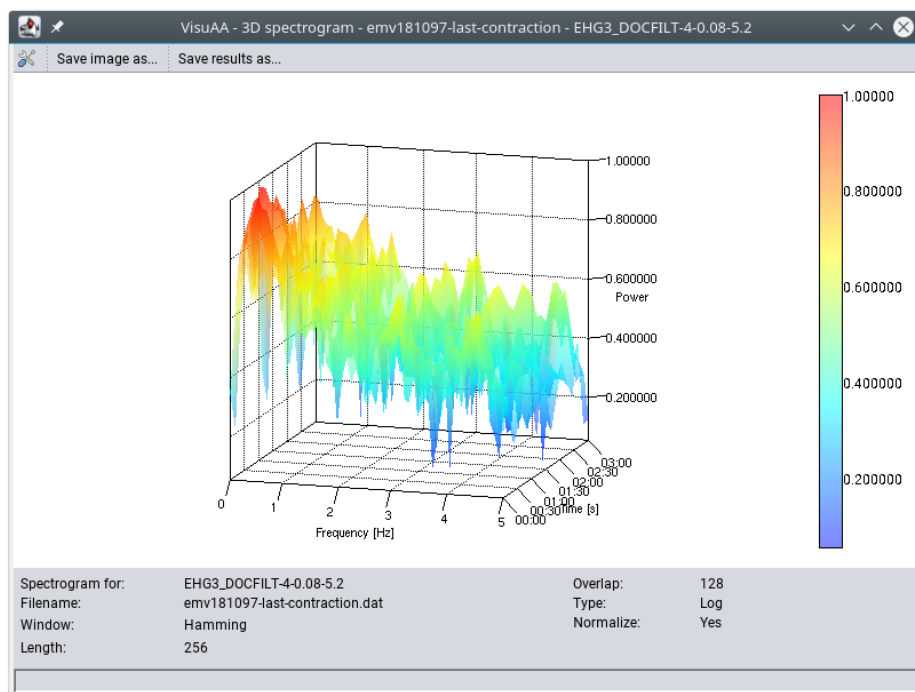
Slika 7.9: Signali zadnjega popadka posnetkov emv181097 in evz100199.



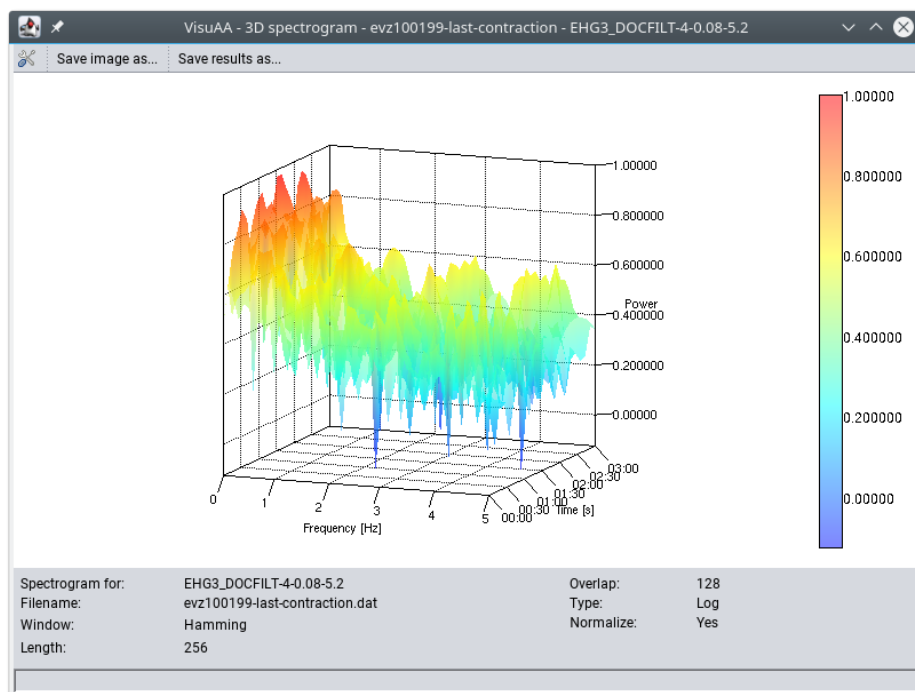
Slika 7.10: Močnostni spekter in spektrogram (Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$) signalov EHG3 in CTG zadnjega popadka posnetkov emv181097 in evz100199.



Slika 7.11: Skalogram CWT, Morletov (analitični) valček in Wigner–Ville–jev spektrogram signalov EHG3 in CTG zadnjega popadka posnetkov emv181097 in evz100199.



(a) Zadnji popadek posnetka emv181097



(b) Zadnji popadek posnetka evz100199

Slika 7.12: 3D spektrogram (Hammingovo okno z $L_w = 256$ in $o = 128$) signala EHG3 zadnjega popadka posnetkov emv181097 in evz100199.

Poglavje 8

Sklepne ugotovitve

Iz opravljenih analiz posnetkov lahko sklepamo, da smo izbrali prave tehnike vizualizacije in analize signalov za analizo posnetkov EHG. S skalogrami DWT in CWT lahko zaznamo, kje v posnetku so najverjetneje popadki (t.j. področja z veliko spremembami). Posebno primeren je skalogram CWT z Morletovim (analitičnim) valčkom. Z uporabo navigacije in lokalnih intervalov lahko prej omenjena področja podrobneje analiziramo z uporabo spektra in spektrogramov.

V razvoju grafičnega orodja VisuAA smo se osredotočili na posnetke signalov EHG. Ker pa za odpiranje in shranjevanje posnetkov uporabljamo programe The WFDB Software Package, lahko z VisuAA vizualiziramo in označujemo tudi druge posnetke, ki so na voljo na PhysioNet. Tudi pri izbiri oznak nismo omejeni samo na oznake, ki so na voljo v programu, saj lahko vnesemo lastne oznake. Tako smo dosegli, da je grafično orodje VisuAA univerzalno orodje za vizualizacijo in označevanje posnetkov.

Med razvojem in uporabo VisuAA smo aktivno spremljali, katera področja programa izboljšati. Potencialno uporabne izboljšave, ki bi povečale univerzalnost in uporabnost VisuAA, so:

- uvedba sistema vtičnikov za nove vizualizacije in klinične oznake. Tako bi dosegli večjo standardizacijo orodij – na voljo bi bilo jedro in vtičniki, ki so specializirani za vizualizacijo in analizo različnih tipov posnetkov.

- uporaba diskretne grafične kartice za izračun transformacij z uporabo knjižnice Java OpenCL [31]. S tem bi pohitrili izvajanje programa predvsem na dolgih posnetkih z visoko frekvenco vzorčenja.
- uporaba večnitnosti v gradniku za delovno površino. Trenutno se večnitnost uporablja v posameznih algoritmičnih vizualizacij. V gradniku, ki implementira delovno površino programa, bi lahko večnitnost uporabili za hkraten izračun več vizualizacijskih področij.
- delo z več posnetki hkrati za lažjo primerjavo posnetkov.
- možnost dela s sejami, ki bi vključevale:
 - odprte posnetke.
 - izbrane vizualizacije in parametre vizualizacij.

Seje bi olajšale nadaljevanje analize posnetka po prekinitvi.

Ker je VisuAA splošno orodje za vizualizacijo in označevanje posnetkov, ga lahko primerjamo s podobnimi orodji, ki so bila razvita v zadnjih dvajsetih letih:

- orodje Wave je del The WFDB Software Package za vizualizacijo in označevanje posnetkov. Glavni problem orodja je, da za grafični uporabniški vmesnik uporablja knjižnico XView, katerega razvoj se je kot kaže ustavil [32]. Zato ni na voljo 64-bitne verzije XView, kar močno omejuje uporabnost orodja na modernih sistemih.
- orodje SEMIA [33] podobno kot Wave uporablja XView in ima enake omejitve na modernih sistemih.
- orodje za označevanje posnetkov LANNOT je bilo razvito v okviru diplomskega dela v letu 2015 [34]. Orodje uporablja JDK 1.7, vendar je v orodju več hroščev, ki močno omejujejo uporabnost orodja.

Iz zgornje primerjave lahko sklepamo, da je VisuAA trenutno eno izmed redkih orodij, s katerim lahko pregledujemo in označujemo posnetke, dostopne na PhysioNet, na modernih sistemih. Poleg pregledovanja in označevanja imamo na voljo tudi dober nabor tehnik za analizo signalov.

Upamo, da bodo VisuAA uporabljali porodničarji v raziskovalne namene in tako pripomogli k zmanjšanju števila prezgodnjih porodov.

Dodatek A

Uporabljeni simboli in indeksi

| Simbol | Pomen |
|--------|-----------------------------|
| A | amplituda |
| c | barva |
| g | ojačanje |
| h | višina |
| l | dolžina posnetka |
| L | dolžina |
| n | signal, vzorec |
| N | število signalov, vzorcev |
| s | skala |
| t | čas |
| w | okno, širina |
| x | koordinata, signal, splošno |
| y | koordinata, signal, splošno |

| Indeks | Pomen |
|--------|------------------------------------|
| 2D | 2D vizualizacija |
| 3D | 3D vizualizacija |
| a | oznaka |
| b | pas |
| c | barvna preslikava |
| e | konec |
| i | splošno |
| I | področje z informacijami o signalu |
| l | lokalni interval |
| max | maksimum |
| min | minimum |
| p | obroba |
| s | signal, začetek |
| v | vizualizacija |
| va | področje za vizualizacijo |
| w | okno |

Dodatek B

Uporabljena okna

V grafičnem orodju VisuAA imamo na voljo pogosto uporabljena okna [35]:

- pravokotno

$$w(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq L_w, \\ 0, & \textit{sicer} \end{cases} \quad (\text{B.1})$$

- Hanningovo (Hannovo)

$$w(n) = \begin{cases} 0.5 - 0.5 \cos(\frac{2\pi n}{L_w}), & 0 \leq n \leq L_w, \\ 0, & \textit{sicer} \end{cases} \quad (\text{B.2})$$

- Hammingovo

$$w(n) = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos(\frac{2\pi n}{L_w}), & 0 \leq n \leq L_w, \\ 0, & \textit{sicer} \end{cases} \quad (\text{B.3})$$

- Bartletovo (trikotno)

$$w(n) = \begin{cases} \frac{2n}{L_w}, & 0 \leq n \leq \frac{L_w}{2}, L_w \textit{ sod} \\ 2 - \frac{2n}{L_w}, & \frac{L_w}{2} < n \leq L_w, \\ 0, & \textit{sicer} \end{cases} \quad (\text{B.4})$$

- Blackmanovo

$$w(n) = \begin{cases} 0.42 - 0.5 \cos(\frac{2\pi n}{L_w}) + 0.08 \cos(\frac{4\pi n}{L_w}), & 0 \leq n \leq L_w, \\ 0, & \textit{sicer} \end{cases} \quad (\text{B.5})$$

Dodatek C

Uporabljeni zvezni valčki

V grafičnem orodju VisuAA smo implementirali naslednje valčke, povzete po [28][36]:

- n -ti odvod Gaussove funkcije (DOG), n je sodo število. Drugi odvod Gausa je Mexican hat valček.

$$\hat{\psi}(s\omega) = -\frac{1}{\sqrt{\Gamma(n + \frac{1}{2})}}(js\omega)^n e^{-\frac{(s\omega)^2}{2}} \quad (\text{C.1})$$

$$f_p(s) = s \frac{\sqrt{n+0,5}}{2\pi} \quad (\text{C.2})$$

- Morletov (analitični) valček.

$$\hat{\psi}(s\omega) = \pi^{-\frac{1}{4}} e^{\frac{-(s\omega - \omega_0)^2}{2}} U(s\omega) \quad (\text{C.3})$$

$$U(\omega) = \begin{cases} 1, & \omega > 0, \\ 0, & \text{šicer} \end{cases} \quad (\text{C.4})$$

$$f_p(s) = s \frac{\omega_0 + \sqrt{2 + \omega_0^2}}{4\pi} \quad (\text{C.5})$$

ω_0 predstavlja frekvenco, privzeta vrednost je $\omega_0 = 6$.

- Morletov (neanalitični) valček.

$$\hat{\psi}(s\omega) = \pi^{-\frac{1}{4}} e^{\frac{-(s\omega - \omega_0)^2}{2}} \quad (\text{C.6})$$

$$f_p(s) = s \frac{\omega_0 + \sqrt{2 + \omega_0^2}}{4\pi} \quad (\text{C.7})$$

ω_0 predstavlja frekvenco, privzeta vrednost je $\omega_0 = 6$.

- Morletov (neanalitični, srednja vrednost enaka nič) valček.

$$\hat{\psi}(s\omega) = \pi^{-\frac{1}{4}} \left\{ e^{\frac{-(s\omega - \omega_0)^2}{2}} - e^{-\frac{\omega_0^2}{2}} \right\} \quad (\text{C.8})$$

$$f_p(s) = s \frac{\omega_0 + \sqrt{2 + \omega_0^2}}{4\pi} \quad (\text{C.9})$$

ω_0 predstavlja frekvenco, privzeta vrednost je $\omega_0 = 6$.

$\hat{\psi}(s\omega)$ je formula za izračun valčka v Fourierjevi domeni, s je skala, ω je krožna frekvenca, $f_p(s)$ je psevdo frekvenca, ki ustreza skali s .

Literatura

- [1] R. Berkow, ur., *Veliki zdravstveni priročnik za domačo uporabo*, ur. M. H. Beers, ur. A. J. Fletcher, prev. D. A. et al. Založba Mladinska knjiga, 2005, str. 1172–1175, ISBN: 86-11-15847-4.
- [2] “Born too soon: the global action report on preterm birth”, WHO, 2012.
- [3] A. Greenough, “Long term respiratory outcomes of very premature birth (< 32 weeks)”, *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*, zv. 17, št. 2, str. 73–76, 2012. DOI: 10.1016/j.siny.2012.01.009.
- [4] L. J. Mangham, S. Petrou, L. W. Doyle, E. S. Draper in N. Marlow, “The Cost of Preterm Birth Throughout Childhood in England and Wales”, *Pediatrics*, zv. 123, št. 2, e312–e327, 2009. DOI: 10.1542/peds.2008-1827.
- [5] H. Leman, C. K. Marque in J. Gondry, “Use of the electrohysterogram signal for characterization of contractions during pregnancy”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, zv. 46, št. 10, str. 1222–1229, 1999. DOI: 10.1109/10.790499.
- [6] W. L. Maner in R. E. Garfield, “Identification of Human Term and Preterm Labor using Artificial Neural Networks on Uterine Electromyography Data”, *Annals of Biomedical Engineering*, zv. 35, št. 3, str. 465–473, 2007. DOI: 10.1007/s10439-006-9248-8.

- [7] P. Fergus, P. Cheung, A. Hussain, D. Al-Jumeily, C. Dobbins in S. Iram, “Prediction of Preterm Deliveries from EHG Signals Using Machine Learning”, *PLoS ONE*, zv. 10, 8(10):e77154, 2003. DOI: 10.1371/journal.pone.0077154.
- [8] G. Fele-Žorž, G. Kavšek, Ž. Novak-Antolič in F. Jager, “A comparison of various linear and non-linear signal processing techniques to separate uterine EMG records of term and pre-term delivery groups”, *Medical & Biological Engineering & Computing*, zv. 46, št. 9, str. 911–922, 2008.
- [9] F. Jager, *Predloge za predavanja pri predmetu “Biomedical signal and image processing”*. Fakulteta za računalništvo in information, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2014–2015.
- [10] (2012). The Term–Preterm EHG Database (TPEHG DB), spletni naslov: <http://www.physionet.org/physiobank/database/tpehgdb/>.
- [11] (2016). PhysioNet, spletni naslov: <http://physionet.org/>.
- [12] (2015). PhysioNetWorks, spletni naslov: <https://physionet.org/users/>.
- [13] (2016). Laboratorij za biomedicinske računalniške sisteme in oslikave, spletni naslov: <https://www.fri.uni-lj.si/si/laboratoriji/lbrso/>.
- [14] (2015). The WFDB Software Package, spletni naslov: <http://www.physionet.org/physiotools/wfdb.shtml>.
- [15] (2016). Welcome to NetBeans, spletni naslov: <https://netbeans.org/>.
- [16] (2016). JTransforms, spletni naslov: <https://github.com/wendykierp/JTransforms>.
- [17] (2016). JWAVE – Open source Java implementation of orthogonal and bi-orthogonal wavelets, spletni naslov: <https://github.com/cscheiblich/JWave>.
- [18] (2015). JZY3D, spletni naslov: <http://www.jzy3d.org/>.
- [19] (2016). Commons Math: The Apache Commons Mathematics Library, spletni naslov: <https://commons.apache.org/proper/commons-math/>.

- [20] (2014). What are the system requirements for Java?, spletni naslov: <https://www.java.com/en/download/help/sysreq.xml>.
- [21] F. Jager, *Predloge za predavanja pri predmetu "Komunikacija človek računalnik"*. Fakulteta za računalništvo in information, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2014–2015.
- [22] A. V. Oppenheim in R. W. Schafer, *Discrete-Time Signal Processing*, 3rd edition. 2014, str. 828–831.
- [23] J. O'Toole, M. Mesbah in B. Boashas, "A discrete time and frequency Wigner–Ville distribution: properties and implementation", v *Proceedings International Symposium on Digital Signal Processing and Communication Systems*, 2005.
- [24] P. S. Addison, J. Walker in R. C. Guido, "A wavelet transform overview", *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, zv. 28, št. 5, str. 14–29, 2009. DOI: 10.1109/MEMB.2009.934244.
- [25] (2015). HEADER(5), spletni naslov: <http://www.physionet.org/physiotools/wag/header-5.htm>.
- [26] (2008). The Time–Frequency Toolbox, spletni naslov: <http://tftb.nongnu.org/>.
- [27] S. G. Mallat, "A theory of multiresolution signal decomposition: the wavelet representation", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1989.
- [28] C. Torrence in G. P. Compo, "A practical guide to wavelet analysis", *Bulletin of the American Meteorological Society*, zv. 79, str. 61–78, 1998.
- [29] C. Maple, "Geometric design and space planning using the marching squares and marching cube algorithms", v *Proceedings 2003 International Conference on Geometric Modeling and Graphics*, 2003, str. 90–95. DOI: 10.1109/GMAG.2003.1219671.

-
- [30] (2015). PhysioBank Annotations, spletni naslov: <http://www.physionet.org/physiobank/annotations.shtml>.
 - [31] (2016). Java Bindings for the OpenCL API, spletni naslov: <http://jogamp.org/jocl/www/>.
 - [32] (2016). Xview libraries, spletni naslov: <https://www.physionet.org/physiotools/xview/>.
 - [33] R. Dorn in F. Jager, "Semia: semi-automatic interactive graphic editing tool to annotate ambulatory ECG records", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, zv. 75, št. 3, 2004. DOI: 10.1016/j.cmpb.2004.02.005.
 - [34] L. Babič, "Razvoj interaktivnega grafičnega urejevalnika za označevanje posnetkov elektrohisterograma", diplomsko delo, Univ. v Ljubljani, Fak. za računalništvo in informatiko, 2015.
 - [35] A. V. Oppenheim in R. W. Schaffer, *Discrete-Time Signal Processing*, 3rd edition. 2014, str. 559–560.
 - [36] (2016). Continuous wavelet transform using FFT algorithm - MATLAB cwtft, spletni naslov: <http://www.mathworks.com/help/wavelet/ref/cwtft.html>.
 - [37] D. Stone, C. Jarrett, M. Woodroffe in S. Minocha, *User Interface Design and Evaluation*, 1st edition. Open University, UK, 2005, ISBN: 978-0120884360.
 - [38] A. Cooper, R. Reimann in D. Cronin, *About Face 3: The Essentials of Interaction Design*, 3rd edition. Wiley Publishing, 2007, ISBN: 978-0470084113.
 - [39] B. Shneiderman, C. Plaisant, M. Cohen in S. Jacobs, *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, 5th edition. Pearson, 2009, ISBN: 978-0321537355.

-
- [40] W. O. Galitz, *It's Time to Clean Your Windows: Designing GUIs That Work*, 1st edition. A Wiley-QED Publication, 1994, ISBN: 978-0471606680.
 - [41] J. Raskin, *The Humane Interface: New Directions for Designing Interactive Systems*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000, ISBN: 978-0201379372.
 - [42] D. A. Norman, *The Design of Everyday Things*. Doubleday Business, 1990, ISBN: 978-0385267748.